



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXTRACTOR LÍQUIDO-
LÍQUIDO PARA UN SISTEMA TERNARIO”**

Tesis de grado previo a la obtención del título:
INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: MOLINA PAGUAY JIMMY DANILO
PACHECO REINOSO FREDY MAURICIO
TUTOR: ING. MARIO AGUSTO VILLACRÉS

Riobamba – Ecuador
2015

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO PARA UN SISTEMA TERNARIO**”, de responsabilidad de los señores Jimmy Danilo Molina Paguay y Fredy Mauricio Pacheco Reinoso ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Mario Villacrés A. DIRECTOR DE TESIS
Ing. Marco Chuiza MIEMBRO DEL TRIBUNAL
DOCUMENTALISTA SISIB-ESPOCH
Nota de Tesis Escrita	

“Nosotros, JIMMY DANILO MOLINA PAGUAY Y FREDY MAURICIO PACHECO REINOSO, somos responsables de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

Jimmy Molina

Fredy Pacheco

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres, Iván y Yolanda, quienes con su ejemplo de lucha y su apoyo incondicional me han guiado siempre por el camino correcto para el cumplimiento de mis metas. A mis abuelitos Elvita y Celianito por todos los consejos, historias y cariños brindados durante todo este tiempo.

A mi novia Jessica por su apoyo y comprensión durante todo este arduo camino. A mis hermanas Lesly y Brillitte, por su apoyo moral.

Jimmy

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres, Juan y Narcisa, quienes con su apoyo incondicional me han guiado por el camino correcto, a Paulina por estar a mi lado en alegrías y tristezas, a mi pequeño Paúl que con su inocencia día a día me da la fuerza para seguir adelante y a mis hermanos Juan y Ariel por su apoyo moral hasta poder alcanzar una meta más en mi vida.

Fredy

AGRADECIMIENTO

En este trabajo de investigación científica queremos brindar nuestro agradecimiento a Dios, a nuestros padres y a todos los docentes que de una u otra manera nos guiaron e impartieron sus conocimientos que ayudaron a la culminación con éxito de este trabajo, en especial al Ing. Mario Villacres e Ing. Marco Chuiza, quienes de forma exhaustiva colaboraron con esta investigación desde el inicio hasta el final.

Hacemos extensiva nuestra gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias, a la Escuela de Ingeniería Química y a todo el personal que la conforma, por darnos la oportunidad de ser parte de esta gran familia que hizo posible el poder ser profesionales.

Molina J. - Pacheco

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICES DE GRÁFICOS	xiv
ÍNDICE DE CUADROS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	- 1 -
CAPÍTULO I.....	- 4 -
1. MARCO TEÓRICO.....	- 4 -
1.1. Extracción líquido – líquido	- 4 -
1.1.1. Técnicas de extracción líquido – líquido.....	- 5 -
1.1.1.1. Extracción líquido - líquido simple	- 5 -
1.1.1.1.1. Características del disolvente de extracción	- 6 -
1.1.1.1.2. Disolventes inmiscibles con el agua: disolventes utilizados con mayor frecuencia -	7 -
1.1.1.1.3. Disolventes de extracción comúnmente utilizados	- 7 -
1.1.2. Diagramas de equilibrio ternario.....	- 7 -
1.1.3. Extracción líquido - líquido continuo.....	- 10 -
1.1.4. Aplicaciones de la extracción líquido – líquido	- 10 -
1.1.4.1. Para separaciones que no se pueden ejecutar por otros procesos:	- 11 -
1.1.4.2. Como un sustituto de métodos químicos:	- 11 -
1.1.4.3. En competencia con otros métodos de separación:	- 11 -
1.1.5. Clasificación de equipos de extracción líquida-líquida.....	- 12 -
1.1.5.1. Contactores por etapas:	- 12 -
1.1.5.2. Extractores por contacto diferenciales.....	- 16 -
1.2. Diseño.....	- 18 -
1.2.1. Densidad.....	- 19 -
1.2.1.1. Densidad de la mezcla de la alimentación	- 19 -
1.2.1.2. Densidad absoluta de la mezcla	- 19 -

1.2.1.3.	Densidad absoluta del solvente	- 19 -
1.2.2.	Volumen	- 19 -
1.2.2.1.	Volumen de mallas.....	- 20 -
1.2.2.2.	Volumen total de las mallas.....	- 20 -
1.2.2.3.	Volumen de la columna	- 20 -
1.2.2.4.	Volumen requerido de alimentación.....	- 20 -
1.2.2.5.	Volumen requerido de solvente	- 21 -
1.2.3.	Coeficiente de distribución	- 21 -
1.3.	Experimento	- 21 -
1.3.1.	Fórmulas de la parte experimental	- 21 -
1.3.1.1.	Balance total de masa.....	- 22 -
1.3.1.2.	Balance de masa para el componente a	- 22 -
1.3.1.3.	Balance de masa para el componente b	- 22 -
1.3.1.4.	Balance de masa para el solvente	- 23 -
1.3.1.5.	Masa del componente a en el extracto	- 23 -
1.3.1.6.	Masa del componente a en el refinado.....	- 23 -
1.3.1.7.	Masa del componente b en el refinado.....	- 23 -
1.3.1.8.	Masa del solvente en el extracto.....	- 24 -
1.3.1.9.	Masa del componente a en la alimentación	- 24 -
1.3.1.10.	Cantidad de extracto	- 24 -
1.3.1.11.	Cantidad de refinado.....	- 24 -
1.3.1.12.	Fracción del componente a en el extracto.....	- 25 -
1.3.1.13.	Fracción del componente a en el refinado.	- 25 -
1.3.1.14.	Eficiencia de la extracción	- 25 -
1.3.1.15.	Rendimiento del equipo	- 25 -
CAPÍTULO II	- 26 -
2.	MARCO METODOLÓGICO	- 26 -
2.1.	Muestreo.....	- 26 -
2.2.	Metodología.....	- 26 -
2.2.1.	Métodos y técnicas	- 26 -
2.2.1.1.	Métodos	- 26 -
2.2.1.1.1.	Inductivo.....	- 26 -
2.2.1.1.2.	Deductivo	- 27 -
2.2.1.2.	Técnicas.....	- 27 -
2.2.1.3.	Eficiencia de extracción	28
2.2.1.4.	Dimensionamiento de la columna de extracción.....	29

2.3.	Datos de diseño.....	30
2.3.1.	Diagnóstico	30
2.3.2.	Datos.....	30
2.3.2.1.	Acetona-agua.....	30
2.3.2.2.	Acetona-metilisobutilcetona	31
2.3.2.3.	Concentraciones de acetona a distintas relaciones.....	32
2.3.2.4.	Densidades	32
2.3.2.5.	Datos adicionales	32
CAPITULO III.....		33
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
3.1.	Cálculos	33
3.1.1.	Capacidad de la columna de extracción (scheibel)	33
3.1.1.1.	Volumen de mallas de acero.....	33
3.1.1.2.	Volumen total de la columna	33
3.1.1.3.	Densidad de la mezcla de la alimentación	34
3.2.	Cálculos téóricos	34
3.2.1.	Masa de alimentación.....	34
3.2.2.	Densidad del solvente	34
3.2.3.	Balance de masa para la acetona.....	34
3.2.4.	Balance de masa para el agua.....	35
3.2.5.	Balance de masa para el solvente.....	35
3.2.6.	Coeficiente de distribución	35
3.2.7.	Cantidad de extracto	36
3.2.8.	Fracción en peso de solvente en el extracto.....	36
3.2.9.	Fracción en peso de acetona en el extracto.	36
3.2.10.	Cantidad de refinado	37
3.2.11.	Fracción en peso de agua en el refinado	37
3.2.12.	Fracción en peso de acetona en el refinado	37
3.2.13.	Cantidad de acetona en la alimentación.....	37
3.2.14.	Eficiencia de extracción	37
3.3.	Cálculos reales tomados durante la validación del equipo	38
3.3.1.	Volumen utilizado de alimentación.....	38
3.3.2.	Volumen utilizado de solvente.....	38
3.3.3.	Concentración de acetona en el extracto	38
3.3.4.	Concentración del solvente en el extracto	38

3.3.5.	<i>Concentración de acetona en el refinado</i>	38
3.3.6.	<i>Concentración del agua en el refinado.....</i>	39
3.3.7.	<i>Densidad del extracto</i>	39
3.3.8.	<i>Masa del extracto.....</i>	39
3.3.9.	<i>Cantidad de acetona en el extracto</i>	39
3.3.10.	<i>Cantidad de alimentación.....</i>	39
3.3.11.	<i>Cantidad de acetona en la alimentación.....</i>	40
3.3.12.	<i>Eficiencia de extracción</i>	40
3.3.13.	<i>Rendimiento del equipo</i>	40
3.4.	Resultados	40
3.4.1.	<i>Resultados en el extracto.....</i>	40
3.4.2.	<i>Resultados en el refinado</i>	41
3.4.3.	<i>Resultados de las eficiencias de extracción</i>	42
3.4.4.	<i>Resultados del extractor líquido – líquido.</i>	42
3.5.	Propuesta de diseño	43
3.5.1.	<i>Análisis de costos</i>	44
3.5.1.1.	<i>Costos de inversión.....</i>	44
3.5.1.1.1.	<i>Recursos materiales.....</i>	44
3.5.1.1.2.	<i>Recursos Humanos.....</i>	45
3.5.1.1.3.	<i>Costos de Producción</i>	45
3.5.1.1.4.	<i>Recursos Totales</i>	45
3.6.	Análisis y discusión	46
	CONCLUSIONES.....	47
	RECOMENDACIONES.....	48
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

SÍMBOLO	UNIDAD	SIGNIFICADO
h_c	m	Altura de la columna
h_m	m	Altura de la malla
h_{im}	m	Altura individual de cada malla
E	kg	Cantidad de extracto
F	kg	Cantidad de mezcla de alimentación
R	kg	Cantidad de refinado
S	kg	Cantidad de solvente extractor
k_A		Coefficiente de distribución o reparto del soluto
ρ_F	kg/L	Densidad de la mezcla de alimentación
ρ_B	kg/L	Densidad del disolvente en la mezcla de alimentación
ρ_A	kg/L	Densidad del soluto
ρ_S	kg/L	Densidad del solvente extractor
\emptyset	m	Diámetro interno de la columna
B		Disolvente en la mezcla inicial
Ef	%	Eficiencia de extracción
x_{SE}		Fracción del agente extractor en el extracto
x_{BR}		Fracción del disolvente en el refinado
x_{BF}		Fracción del disolvente en la mezcla de alimentación
x_{AE}		Fracción del soluto en el extracto
x_{AEREAL}	kg	Fracción del soluto en el extracto obtenido en el equipo
x_{AR}		Fracción del soluto en el refinado
x_{AF}		Fracción del soluto en la mezcla de alimentación
x_S		Fracción del solvente extractor

IR_E		Índice de refracción en el extracto
IR_R		Índice de refracción en el refinado
m_S	kg	Masa del agente extractor
m_{SE}	kg	Masa del agente extractor en el extracto
m_{BR}	kg	Masa del disolvente en el refinado
m_{AE}	kg	Masa del soluto en el extracto
m_{AR}	kg	Masa del soluto en el refinado
m_{AF}	kg	Masa del soluto en la mezcla de alimentación
MIBC		Metilisobutilcetona
π		Pi
PVC		Policloruro de vinilo
HPDE		Polietileno de Alta densidad
r_c	m	Radio interno de la columna
%R	%	Rendimiento del equipo
A		Soluto
V_c	L	Volumen de la columna
V_m	L	Volumen de la malla
V_F	L	Volumen de la mezcla de alimentación
V_S	L	Volumen del solvente extractor
V_{IF}	L	Volumen final de la mezcla de alimentación
V_{IS}	L	Volumen final del solvente extractor
V_{iF}	L	Volumen inicial de la mezcla de alimentación
V_{iS}	L	Volumen inicial del solvente extractor
V_{mT}	L	Volumen total de las mallas

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N°1-2:	EFICIENCIA DE LA EXTRACCIÓN.....	28
TABLA N° 2-2:	DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE EXTRACCIÓN.....	29
TABLA N° 3-2:	DATOS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN, MEDIDOS PARA LAS SOLUCIONES DE ACETONA-AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE.	30
TABLA N° 4-2:	DATOS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN, MEDIDOS PARA LAS SOLUCIONES DE ACETONA-METILISOBUTILCETONA (MIBC) A TEMPERATURA AMBIENTE.....	31
TABLA N°5-2:	DATOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN A DISTINTAS RELACIONES	32
TABLA N°6-2:	DENSIDADES DE LOS COMPUESTOS	32
TABLA N°7-2:	DATOS ADICIONALES PARA EL SISTEMA ACETONA-AGUA-MIBC	32
TABLA N° 8-3:	RESULTADOS DE LAS FRACCIONES EN EL EXTRACTO	40
TABLA N° 9-3:	RESULTADOS DE LAS FRACCIONES EN EL REFINADO	41
TABLA N ° 10-3:	RESULTADOS DE LAS EFICIENCIAS DE EXTRACCIÓN	42
TABLA N °11-3:	RESULTADOS DEL EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO	42
TABLA N° 12-3:	RESULTADOS DE LAS EFICIENCIAS Y RENDIMIENTO DEL EXTRACTOR LÍQUIDO - LÍQUIDO	43
TABLA N° 13-3:	DIMENSIONAMIENTO DEL EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO	43
TABLA N° 14-3:	RECURSOS MATERIALES	44
TABLA N°15-3:	RECURSOS HUMANOS	45
TABLA N°16-3:	COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	45
TABLA N°17-3:	RECURSOS TOTALES.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1-1:	ESQUEMA IDEALIZADO DE UNA OPERACIÓN DE	- 4 -
FIGURA N° 2-1:	DIAGRAMA DEL TRIANGULO EQUILÁTERO PARA UN PAR DE LÍQUIDOS PARCIALMENTE MISCIBLES	- 9 -
FIGURA N° 3-1:	DIAGRAMA DEL TRIANGULO EQUILÁTERO, PARA 2 PARES DE LÍQUIDOS PARCIALMENTE MISCIBLES	- 9 -
FIGURA N° 4-1:	DIAGRAMA DEL TRIANGULO EQUILÁTERO PARA 3 PARES DE LÍQUIDOS PARCIALMENTE MISCIBLES	- 10 -
FIGURA N° 5-1:	TORRE DE PLATOS PERFORADOS	- 13 -
FIGURA N° 6-1:	MEZCLADOR—SEDIMENTADOR	- 13 -
FIGURA N° 7-1:	COLUMNA DE PULSOS	- 14 -
FIGURA N° 8-1:	COLUMNA DE SCHEIBEL	- 15 -
FIGURA N° 9-1:	COLUMNA EMPACADA	- 16 -
FIGURA N° 10-1:	EXTRACTOR CENTRÍFUGO DE PODBIELNIAK	- 17 -
FIGURA N° 11-1:	COLUMNA DE	- 17 -
FIGURA N° 12-1:	EQUIPO DE CONTACTO DE DISCO GIRATORIO	- 18 -

ÍNDICES DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1-1: ESQUEMA DE LA COLUMNA.....	- 21 -
GRÁFICO N° 2-3: FRACCIONES DE LOS COMPONENTES EN EL EXTRACTO	41
GRÁFICO N° 3-3: FRACCIONES DE LOS COMPONENTES EN EL REFINADO.....	41
GRÁFICO N° 4-3: EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1-1: DISOLVENTES DE EXTRACCIÓN COMÚNMENTE UTILIZADOS .- 7 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS A: DESHIDRATADOR

ANEXOS B: VISTAS DEL EXTRACTOR

ANEXOS C: VALIDACIÓN

ANEXOS D: COEFICIENTES DE REPARTO

RESUMEN

El diseño y construcción de un extractor líquido-líquido para un sistema ternario se realizó con el objeto de separar mezclas binarias, ocupando como agente extractor un disolvente, por lo que se construyó una columna de Scheibel que servirá en menor grado en el ámbito profesional y de investigación y en mayor grado dentro del ámbito didáctico y educativo, en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad Ciencias en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Para el diseño, se realizó ensayos de laboratorio teniendo en cuenta una concentración fija de alimentación y variando la relación de la mezcla de alimentación con disolvente, estas fueron 1:1, 1:2 y 1:3; de esa manera, el equipo cuenta con una estructura metálica para el soporte de una columna de extracción con un diámetro de 7,5 cm y una altura de 162 cm, con una capacidad disponible de 6 L, y en la parte superior 2 tanques de almacenamiento para la entrada de la alimentación y solvente necesarios para extraer desde el 40 % al 17 % de acetona contenida en el agua al final de la extracción, añadiendo Metilisobutilcetona como disolvente. Se concluye que el diseño y construcción de un extractor líquido – líquido arrojó un rendimiento del 84,62% y una eficiencia de extracción del 67,21%, siendo resultados positivos debido a que la extracción se dio en una sola etapa, con una relación 1:1. Se recomienda utilizar el extractor liquido-liquido dentro del laboratorio para futuras practicas utilizando diferentes sistemas ternarios complementando así la parte teórica con la práctica tomando en cuenta que los compuestos a utilizar sean fáciles de conseguir y verificando las fichas técnicas de estos.

Palabras claves: <COLUMNA DE SCHEIBEL>, < DISOLVENTE
[Metilisobutilcetona]>, <EXTRACCIÓN>, <EXTRACTO>, <REFINADO>,
<SISTEMA TERNARIO>

SUMMARY

The design and construction of liquid-liquid extractor for a ternary system was made with the aim of separating binary mixtures using as extraction agent a solvent, thus a Scheibel column was built which will serve in a lesser degree in the professional and the research area and in a higher degree in the field of education and training in the Process Laboratory of the Faculty of Science at Escuela Superior de Chimborazo. Laboratory testing was performed for the design taking into account a fixed feed concentration and varying the ratio of the feed mixture with solvent, these were 1:1, 1:2, 1:3. That is why, the team has a metal structure for supporting of an extraction column with a diameter of 7.5 cm and a height of 162 cm, with an available capacity of 6 L, and in the top 2 tank storage for the feed inlet and solvent needed to extract from 40% to 17% of acetone contained in the water at the end of the extraction adding Methylisobutyketona as solvent. It is concluded that the design and construction of a liquid-liquid extractor showed a yield of 84.62% and an extraction efficiency of 67.21%, with positive results because the extraction took place in a single stage, with a ratio of 1:1 it is recommend to use liquid-liquid extract in the laboratory for further practice using different ternary systems complementing the theoretical to the practical considering that the compounds to be used are easily available and checking technical data sheets of them.

Keywords: < SCHEIBEL COLUMN > < SOLVENT [Methylisobutylketona] >
< EXTRACTION > < EXTRACT >, < REFINED > < TERNARY SYSTEM >

INTRODUCCIÓN

La extracción líquido-líquido, que junto a la destilación, es la operación básica más importante en la separación de mezclas homogéneas líquidas, se da por la transferencia de materia y se consigue mediante el contacto directo entre las dos fases líquidas, esta es una tecnología de separación específica y técnicamente avanzada que se aplica cuando alternativas más sencillas, como la destilación, no logran satisfacer sus necesidades por lo que los componentes se extraen de su alimentación con la ayuda de un solvente, sin un paso de evaporación de alto consumo energético.

El presente proyecto de investigación se fundamenta en el diseño y construcción de un extractor líquido-líquido para un sistema ternario, basado en la facilidad de conseguir y manipular los compuestos a utilizar, teniendo en cuenta estos requisitos ocupamos la mezcla Acetona-agua como alimentación y Metilisobutilcetona como agente extractor de la acetona.

Los datos para el diseño de la columna de Scheibel fueron generados en el laboratorio a través de ensayos de extracción líquido-líquido, los mismos que posteriormente nos permitieron realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento correcto y futura construcción del equipo, el cual brindará un soporte académico-práctico al laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias donde los estudiantes de las diferentes carreras podrán realizar sus prácticas e investigaciones, aplicando los diferentes sistemas ternarios para complementar los conocimientos adquiridos en las aulas.

ANTECEDENTES

La extracción líquido- líquido surge por la búsqueda de nuevos métodos o técnicas de separación, las cuales deben ser más eficientes y de menor costo que las demás, por lo que esta operación ha llegado a ser una de las más utilizadas para separar compuestos de mezclas líquidas.

El estudio del equilibrio de fases líquido-líquido en sistemas multicomponentes tiene mucha importancia en los procesos industriales de separación en fase líquida, debido a que los disolventes seleccionados para cada proceso deben ser no tóxicos, menos corrosivos y sobre todo más selectivos con el compuesto de interés, debido a esto es muy necesario contar con datos confiables de equilibrio para los sistemas ternarios que se desean trabajar.

Con el pasar de los años, varios estudios experimentales han demostrado que esta técnica de extracción puede ser la más idónea cuando se trata de aumentar los porcentajes de pureza de algunos compuestos, ya que en muchos casos es la única operación viable para separar mezclas líquidas en un menor tiempo.

Esta operación es muy eficaz para separar compuestos orgánicos de naturaleza muy diferente, ya que en esta técnica existe la posibilidad de modificar algunos parámetros para separar el compuesto a una pureza deseada, entre los cuales tenemos: elección del disolvente extractante que más se acople a las necesidades y el volumen del mismo, la velocidad de agitación, el número de etapas necesarias para extraer el compuesto que se necesita, entre otros; parámetros que en otras técnicas de separación conocidas son difíciles o casi imposibles de modificarlas.

JUSTIFICACIÓN

Los cambios que al momento experimenta la matriz productiva en nuestro país, exige el planteamiento de un nuevo enfoque investigativo orientado a la producción de nuevos productos que cumplan con la normativa vigente en cuestiones de calidad, ambientales y de seguridad, para de esta modo dejar a un lado una economía basada en la explotación de recursos no renovables y materias primas.

El requerimiento de compuestos con un determinado grado de pureza que son difíciles de obtener por otras técnicas, hacen que la extracción líquido-líquido sea utilizada por industrias como la Petrolera, Farmacéutica, Alimenticia, entre otras, por eso se da como un sustituto de métodos químicos, ya que estos gastan reactivos y a menudo llevan una costosa eliminación de los subproductos químicos, en cambio la extracción líquida no provoca gastos químicos o eliminación de subproductos y puede ser menos costosa.

Por todos estos motivos surge el diseño y construcción del extractor líquido-líquido para un sistema ternario en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para el laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Química, con el fin de satisfacer las necesidades dentro del laboratorio y que los estudiantes puedan complementar la teoría con la práctica, entendiendo de una mejor manera como se da el proceso de extracción y ampliando su visión en el campo laboral.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar y Construir un Extractor Líquido-Líquido para un sistema ternario.

ESPECÍFICOS

- Determinar las variables del proceso existentes en el diseño del equipo propuesto.
- Construir el extractor Líquido-Líquido en base al diseño de ingeniería.
- Realizar la validación del equipo.
- Cuantificar la concentración de los compuestos que hay en el extracto y refinado.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. EXTRACCIÓN LÍQUIDO – LÍQUIDO

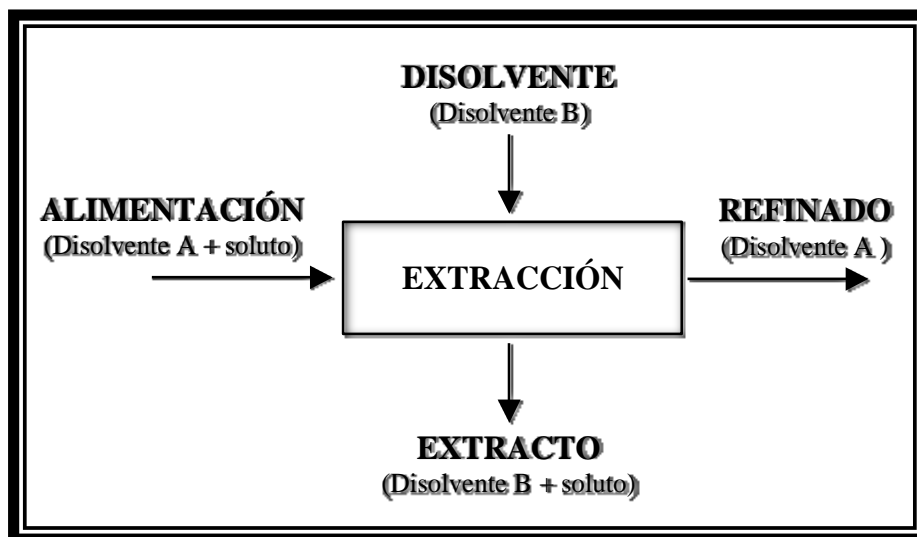


FIGURA N° 1-1: ESQUEMA IDEALIZADO DE UNA OPERACIÓN DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO - LÍQUIDO

Fuente: MÉTODO DE EXTRACCIÓN LIQUIDO-LIQUIDO. <http://es.scribd.com/doc/55913298/extraccion-L-L#scribd>

Llamada también extracción con disolventes, es la separación de los componentes de una disolución por contacto con un líquido inmiscible que disuelve preferentemente a uno de los constituyentes de la disolución original, dando lugar a la aparición de dos capas líquidas inmiscibles de diferentes densidades.

A la columna de extracción ingresa la solución líquida a tratar que se denomina alimentación, y el líquido que se pone en contacto con esta que se nombra como disolvente. Después del contacto entre la alimentación y el disolvente se generan dos fases líquidas las que son:

- Extracto: La más rica en disolvente.
- Refinado: La más pobre en disolvente.

Separando el disolvente del extracto y del refinado se obtienen el producto extraído y el producto refinado. Por ser fundamental la recuperación del disolvente del extracto y refinado esta se debe efectuar de un modo sencillo y económico, que generalmente se realiza por destilación, evaporación o salinificación.

De modo que en cualquier proceso de extracción se va a seguir los siguientes pasos:

- 1) Contacto de la disolución líquida original con el disolvente.
- 2) Separación de las fases líquidas formadas (extracto y refinado).
- 3) Recuperación del disolvente

1.1.1. TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO – LÍQUIDO

Cabe distinguir dos tipos generales de técnicas de extracción líquido – líquido:

- Simple
- Continua

Para elegir una de estas va a depender de las características de los componentes de la mezcla a separar, en especial de los valores individuales y relativos de las relaciones de distribución de dichos componentes. Si se trata de separar una mezcla sencilla cuyos componentes presentan valores muy dispares en sus relaciones de distribución, bastaría utilizar la extracción simple para lograr la separación. Si, por el contrario, la mezcla es compleja y las relaciones de distribución tienen valores similares será necesario utilizar una técnica de extracción más complicada.

1.1.1.1. EXTRACCIÓN LÍQUIDO - LÍQUIDO SIMPLE

La viabilidad de este método depende de la diferencia de solubilidad del compuesto a extraer en dos disolventes diferentes. Cuando se agita un compuesto con dos disolventes inmiscibles, el compuesto se distribuye entre los dos disolventes. A una temperatura determinada, la relación de concentraciones del compuesto en cada disolvente permanece constante, y a esta se la denomina “coeficiente de distribución o de reparto”.

Es frecuente obtener mezclas de reacción en disolución o suspensión acuosa. En estas condiciones, la extracción del producto de reacción deseado a partir de esta mezcla acuosa se consigue aumentando un disolvente orgánico adecuado, más o menos denso que el agua, que sea inmiscible con el agua y capaz de solubilizar la máxima cantidad de producto a extraer pero no las impurezas que lo acompañan en la mezcla de reacción.

Luego de agitar la mezcla de las dos fases se aumenta la superficie de contacto entre ellas y permitir que se dé un equilibrio más rápido del producto a extraer entre las dos fases, lo que ocasiona una transferencia del producto deseado desde la fase acuosa inicial hacia la fase orgánica, en una cantidad tanto mayor, cuanto mayor sea su coeficiente de reparto entre el disolvente orgánico de extracción elegido y el agua. Minutos después de la agitación, las dos fases se vuelven a separar nuevamente, espontáneamente por decantación, por la diferencia de densidades entre ellas, dando como resultado que la fase orgánica que contiene el producto esperado se separara por simple decantación de la fase acuosa conteniendo impurezas. La posición relativa de ambas fases depende de la relación de densidades.

La fase acuosa a menudo contiene cierta cantidad del producto deseado, se debe repetir el proceso de extracción algunas veces más con un disolvente orgánico puro.

Al finalizar el método de extracción, se debe recuperar el producto extraído a partir de las fases orgánicas reunidas. Para esto, se procede a secar la fase orgánica resultante con un agente desecante, filtrar la suspensión resultante y al final descartar el disolvente orgánico de la disolución seca conteniendo el producto extraído por destilación o evaporación.

Normalmente la extracción es aplicada para separar el producto deseado selectivamente de una mezcla, algunas ocasiones lo que se pretende con la extracción es eliminar impurezas no deseadas de una disolución.

1.1.1.1.1. *Características del disolvente de extracción*

La extracción selectiva de un componente de una mezcla disuelta en un determinado disolvente se puede obtener al añadir otro disolvente que cumpla las siguientes condiciones.

- Que no se mezcle con el otro disolvente. El agua o una disolución acuosa suele ser uno de los disolventes implicados. El otro disolvente es un disolvente orgánico.
- Que el componente deseado sea mucho más soluble en el disolvente de extracción que en el disolvente original.
- Que los componentes sobrantes no se mezclen con el disolvente de extracción.
- Que sea volátil, para lograr que se pueda eliminar fácilmente del producto extraído por destilación o evaporación.
- Que no sea tóxico ni inflamable, sin embargo hay pocos disolventes que cumplen estos criterios: existen disolventes relativamente no tóxicos pero inflamables como el hexano, otros no son inflamables pero sí tóxicos como el diclorometano o el cloroformo, y otros son tóxicos e inflamables como el benceno.

1.1.1.1.2. Disolventes inmiscibles con el agua: Disolventes utilizados con mayor frecuencia

- Cuanta más polaridad tiene el disolvente orgánico, mayor solubilidad tiene con el agua. Por ejemplo, disolventes polares como el metanol, el etanol son miscibles con el agua, y por lo tanto, no son adecuados para extracciones líquido-líquido.
- Los disolventes orgánicos con baja polaridad como el diclorometano, el éter dietílico, el acetato de etilo, el hexano o el tolueno son los que se suelen utilizar como disolventes orgánicos de extracción.

1.1.1.1.3. Disolventes de extracción comúnmente utilizados

Nombre	Fórmula	Densidad (g/mL) ¹	Punto de ebullición(°C)	Peligrosidad
Disolventes de extracción menos densos que el agua				
Éter dietílico	(CH ₃ CH ₂) ₂ O	0,7	35	Muy inflamable, tóxico
Hexano	C ₆ H ₁₄	≈ 0,7	> 60	Inflamable
Benceno	C ₆ H ₆	0,9	80	Inflamable, tóxico, carcinógeno
Tolueno	C ₆ H ₅ CH ₃	0,9	111	Inflamable
Acetato de etilo	CH ₃ COOCH ₂ CH ₃	0,9	78	Inflamable, irritante
Disolventes de extracción más densos que el agua				
Diclorometano	CH ₂ Cl ₂	1,3	41	Tóxico
Cloroformo	CHCl ₃	1,5	61	Tóxico
Tetracloruro de carbono	CCl ₄	1,6	77	Tóxico

Nota: La densidad del agua es 1 g/mL, y la de la disolución acuosa saturada de NaCl es 1,2 g/mL.

CUADRO N° 1-1: DISOLVENTES DE EXTRACCIÓN COMÚNMENTE UTILIZADOS

Fuente: EXTRACCIÓN. http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio_tip.html#11

1.1.2. DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO TERNARIO

Para diseñar una operación de extracción líquido-líquido podría considerarse que el refinado y el extracto están en equilibrio. Los datos de equilibrio que se utilizaran serán como mínimo los correspondientes a un sistema ternario, con dos de sus compuestos inmiscibles o parcialmente inmiscibles entre sí.

A menudo se recogen los datos de equilibrio en sistemas ternarios en los diagramas triangulares. En la FIGURA N° 2-1 se observa un diagrama triangular equilátero. Los vértices del triángulo

son los compuestos puros, un punto sobre un lado del triángulo representa una mezcla binaria y un punto en el interior del triángulo representaría una mezcla ternaria, por lo que la composición de una mezcla puede determinarse por lectura directa en el diagrama y la concentración de cada componente se muestra como fracción molar o fracción másica.

En los sistemas ternarios a utilizar para la extracción líquido-líquido los dos disolventes liados son inmiscibles o parcialmente inmiscibles entre sí. Es decir, su mezcla en las proporciones adecuadas puede dar lugar a la formación de dos fases. Además, la presencia de un soluto modifica la solubilidad de un disolvente en otro. Para representar este comportamiento, y poder conocer si a una determinada mezcla le corresponden una o dos fases, los diagramas triangulares líquido-líquido presentan la conocida curva binodal o de solubilidad (FIGURA N° 2-1). Una mezcla representada por un punto situado por encima de la curva binodal estará constituida por una sola fase. Por el contrario, a una mezcla situada por debajo de la curva binodal le corresponden dos fases.

Las dos fases en equilibrio se encuentran ligadas por una recta de reparto. La recta de reparto pasa por el punto mezcla y sus extremos sobre la curva binodal indican la concentración de las dos fases en equilibrio FIGURA N° 2-1

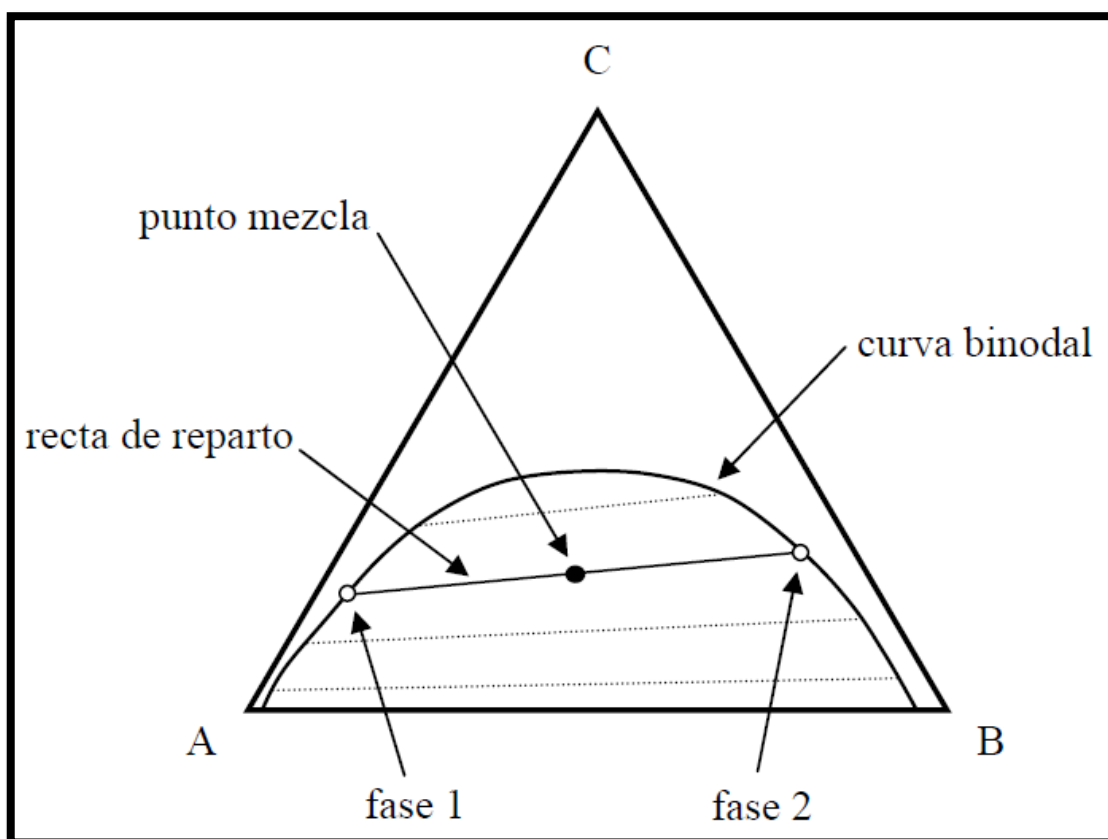


FIGURA N° 2-1: DIAGRAMA DEL TRIANGULO EQUILÁTERO PARA UN PAR DE LÍQUIDOS PARCIALMENTE MISCIBLES

Fuente: EQUILIBRIO TERNARIO ENTRE FASES. <http://es.slideshare.net/adriandsierraf/tema-6-equilibrio-ternario-entre-fases-liquidas>

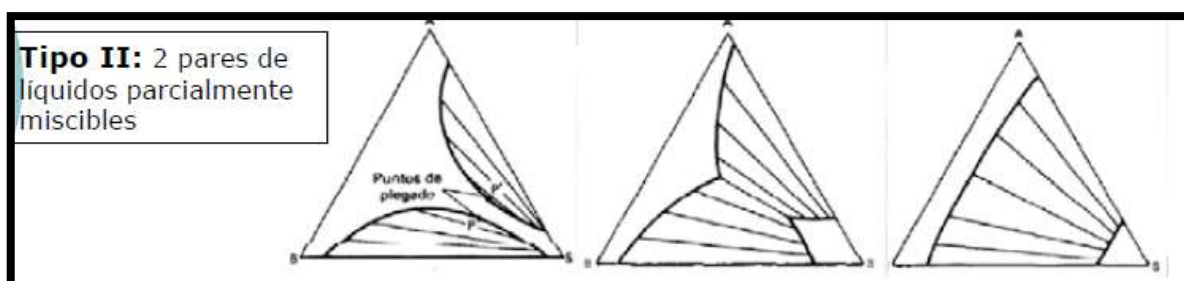


FIGURA N° 3-1: DIAGRAMA DEL TRIANGULO EQUILÁTERO, PARA 2 PARES DE LÍQUIDOS PARCIALMENTE MISCIBLES

Fuente: EXTRACCIÓN LIQUIDO-LIQUIDO. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/yoanacastillo/materias/ope_3/extraccionliq.pdf

Si se disminuye T el sistema puede tener una banda que atraviesa el triángulo.

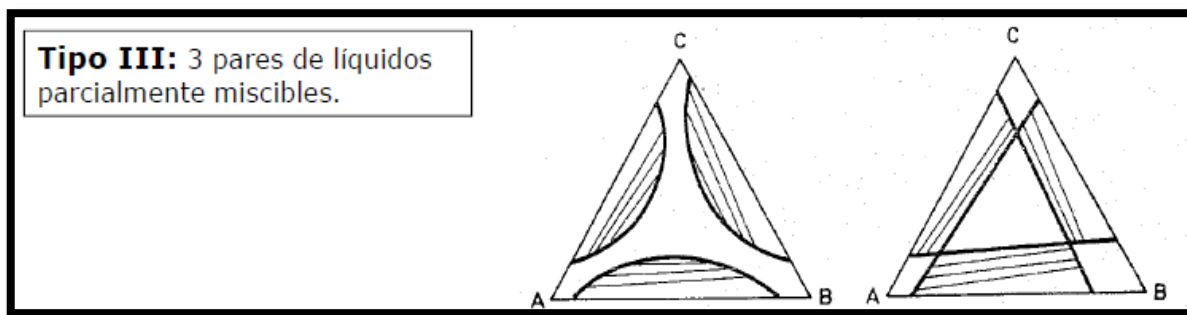


FIGURA N° 4-1: DIAGRAMA DEL TRIANGULO EQUILÁTERO PARA 3 PARES DE LÍQUIDOS PARCIALMENTE MISCIBLES

Fuente: EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/yoanacastillo/materias/ope_3/extraccionliq.pdf

1.1.3. EXTRACCIÓN LÍQUIDO - LÍQUIDO CONTINUO

La extracción líquido-líquido simple, es la manera de extracción más empleada en los laboratorios químicos, suelen utilizarse siempre que el reparto del compuesto a extraer en el disolvente de extracción es suficientemente favorable. Cuando eso no es así, y la solubilidad del compuesto a extraer en los disolventes de extracción habituales no es muy elevada se suele utilizar otro proceso que implica una extracción continua de la fase inicial con porciones nuevas del disolvente orgánico de extracción. Para evitar usar grandes volúmenes de disolvente de extracción, el proceso se forja en un sistema cerrado en el que el disolvente de extracción se calienta en un matraz y los vapores del disolvente se hacen condensar en un refrigerante colocado sobre un tubo o cámara de extracción que contiene la disolución acuosa a extraer. El disolvente condensado caliente se hace pasar a través de la disolución acuosa, para llegar finalmente, con parte del producto extraído, al matraz inicial, donde el disolvente orgánico se vuelve a vaporizar, repitiendo un nuevo ciclo de extracción, mientras que el producto extraído, no volátil, se va concentrando en el matraz.

1.1.4. APLICACIONES DE LA EXTRACCIÓN LÍQUIDO – LÍQUIDO

Las aplicaciones de esta técnica de extracción vienen dadas en algunas categorías: aquellas aplicaciones en que la extracción líquido – líquido es la única técnica apropiada y en la que está en competencia directa con otros métodos de separación.

1.1.4.1. PARA SEPARACIONES QUE NO SE PUEDEN EJECUTAR POR OTROS PROCESOS:

En una destilación, la fase de vapor se origina del líquido por la adición de calor, en este caso el líquido y el vapor tienen las mismas sustancias; por tal razón son químicamente parecidos. Entonces, las separaciones originadas dependen de las presiones de vapor de las sustancias. A lo contrario, en la extracción líquido - líquido, los componentes principales de cada fase son químicamente diferentes; por ende, las separaciones se producen de acuerdo al tipo químico. Por ejemplo, no se pueden separar por destilación los hidrocarburos parafínicos y aromáticos de peso molecular similar, debido a que sus presiones de vapor son bien parecidas; pero se pueden simplemente separar con la ayuda de solventes (dietilenglicol, dióxido de azufre líquido, etc.). La gran mayoría de productos farmacéuticos se producen en mezclas muy complejas, y es en estos casos que el único método de separación apropiado es la extracción líquido – líquido.

1.1.4.2. COMO UN SUSTITUTO DE MÉTODOS QUÍMICOS:

Los métodos químicos gastan reactivos y esto conlleva a una eliminación de los subproductos costosa. La extracción líquido – líquido, en la mayoría de casos no origina gastos químicos o eliminación de subproductos, suele ser menos costosa.

1.1.4.3. EN COMPETENCIA CON OTROS MÉTODOS DE SEPARACIÓN:

Mediante la destilación y la evaporación se obtienen productos con sustancias puras, debido a que estos métodos de separación son directos. Por otro lado, la extracción líquido – líquido produce nuevas soluciones, a las cuales hay que separarlas a menudo por destilación o evaporación. Por ejemplo, al ácido acético mezclado con agua es complicado separarlo por destilación, pero puede extraerse fácilmente mediante la adición de un disolvente adecuado y posteriormente realizar una destilación al extracto.

Generalmente, en soluciones bien diluidas donde el agua debe separarse por destilación, la extracción es más económica.

Como sustituto de la destilación o evaporación, cuando los compuestos a separar son químicamente diferentes. Por ejemplo, el ácido acético puede separarse de disoluciones diluidas en agua a costes relativamente altos por rectificación, no obstante se puede separar con relativa facilidad y menores costes por extracción seguida de rectificación del extracto. Cuanto más diluida es la disolución de partida, más económica resultará la separación por extracción (siempre que, como suele ocurrir, el calor latente de vaporización del disolvente sea menor que el del agua). Resulta necesario recurrir a esta operación cuando la sustancia a separar pueda descomponerse

térmicamente y por tanto deba efectuarse la destilación a vacío. Por ejemplo, es el caso de ácidos grasos de larga cadena que pueden separarse de los aceites vegetales que los contienen por destilación a alto vacío, pero que pueden recuperarse ventajosamente por extracción con propano líquido.

Para separaciones que no son fáciles o posibles por otras técnicas. Ejemplo la separación de hidrocarburos aromáticos y parafínicos de pesos moleculares próximos (y por tanto parecidos puntos de ebullición) es muy sencilla por extracción con distintos disolventes, como el dióxido de azufre y dietilenglicol, pero es prácticamente imposible por destilación ya que las presiones de vapor son muy parecidas. Muchos productos farmacéuticos (como la penicilina) se obtienen de mezclas tan complejas, que su separación solo es posible por extracción. Muchas separaciones de metales, en particular aquellas costosas y difíciles por medios químicos (como vanadio-uranio, hafnio-circonio) se pueden llevar a cabo económicamente por extracción. Incluso productos inorgánicos de bajo coste tales como el ácido fosfórico, bórico o hidróxido sódico se purifican por extracción con disolventes.

Finalmente comentaremos los procesos de extracción supercrítica que permiten la recuperación de distintas sustancias como la cafeína, etc. utilizando básicamente el dióxido de carbono supercrítico como disolvente.

1.1.5. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDA-LÍQUIDA

Se los puede definir en: Contactores por etapas y Extractores por contacto diferenciales.

1.1.5.1. CONTACTORES POR ETAPAS:

- **Columna de platos.-** El líquido liviano filtra por los orificios de los platos, de esta manera se propaga en gotas y se elevan por la fase continua. El líquido pesado atraviesa horizontalmente por los platos y sigue al plato inferior por el tubo de descenso.

Las gotas del disolvente liviano líquido se elevan, mientras que las gotas propagadas se aglomeran en la parte inferior de cada plato y vuelven a formarse encima de éste al cruzar los orificios.

El líquido acuoso pesado atraviesa por los platos hacia abajo, allí se une con las gotas flotantes y luego fluye hacia el plato inferior.

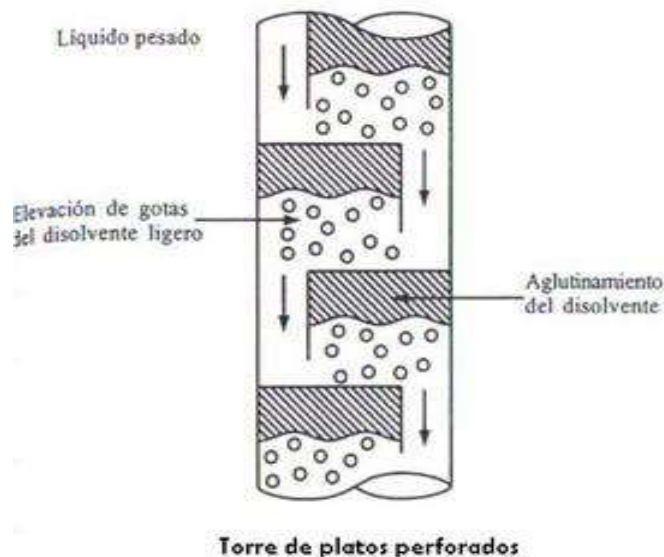


FIGURA N° 5-1: TORRE DE PLATOS PERFORADOS

Fuente: EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO. <http://procesosbio.wikispaces.com/Extracci%C3%B3n+liquido-liquido>

- **Mezcladores sedimentadores.**- Conocido como extractor de Treybal, en este extractor las fases líquidas se mezclan y posteriormente por sedimentación se separan, esta etapa es por gravedad en un sedimentador.

Los extractores mezcladores – sedimentadores pueden alcanzar una eficiencia del 90 al 95%.

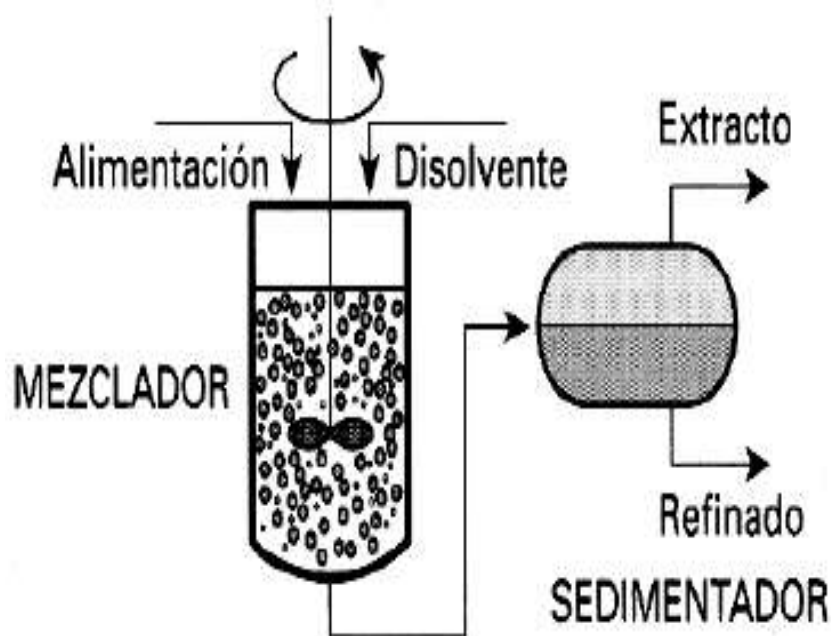


FIGURA N° 6-1: MEZCLADOR—SEDIMENTADOR

Fuente: EQUIPOS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDA-LÍQUIDA. <https://procesosdeseparacion.files.wordpress.com/2014/01/equiposextliq.pdf>

- **Columna de Pulsos.-** En estos extractores se le da un movimiento oscilado breve al líquido contenido, ya que esta agitación hace que las velocidades extracción mejoren. Debido a que no hay partes móviles dentro de la columna, estos extractores son utilizados en trabajos de energía atómica cuando se trabajan con soluciones radiactivas.

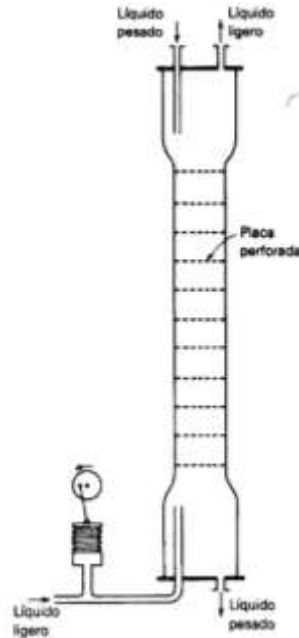


FIGURA N° 7-1: COLUMNA DE PULSOS

Fuente: EQUIPOS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDA-LÍQUIDA.

<https://procesosdeseparacion.files.wordpress.com/2014/01/equiposextliq.pdf>

- **Columna de Scheibel.-** Ha habido varias modificaciones a la forma original, con las cuales se le ha convertido a este extractor en uno de los más eficaces, ya que la distribución interna de los deflectores controlan de buena manera el mezclado en las etapas. Es adecuada para extracciones en las que es necesario un elevado número de etapas.

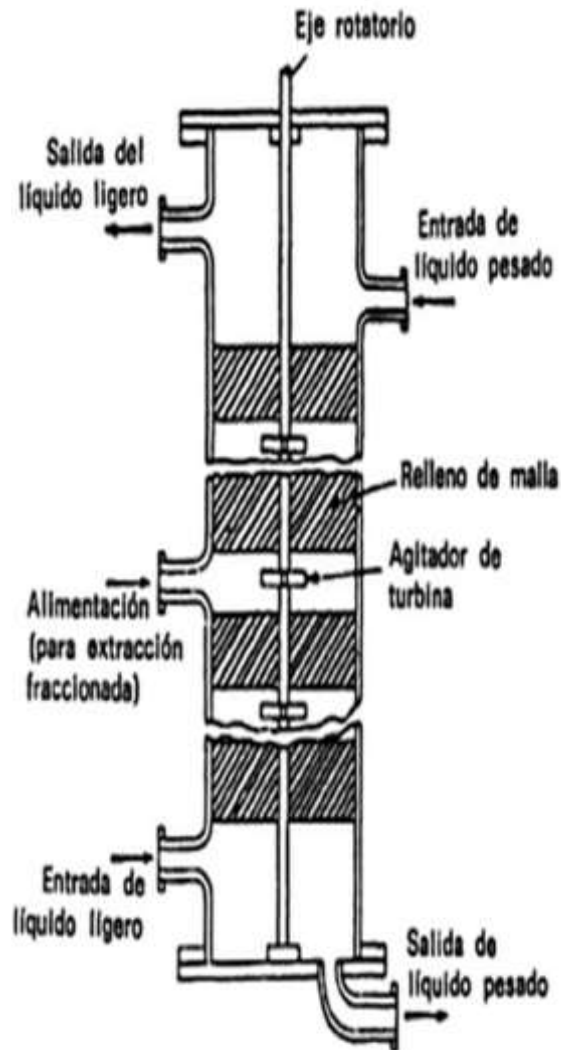


FIG. 13.39. Columna Scheibel.

FIGURA N° 8-1: COLUMNA DE SCHEIBEL

Fuente: EQUIPOS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDA-LÍQUIDA.

<https://procesosdeseparacion.files.wordpress.com/2014/01/equiposextliq.pdf>

Consta de dos entradas una en la parte superior en donde ingresa el líquido pesado y una entrada en la parte inferior donde ingresa el líquido ligero, de modo que el proceso se da en contracorriente, de igual forma consta de dos salidas por la parte superior sale el líquido ligero y por la parte inferior sale el líquido pesado, atravesando la columna existe un eje rotatorio con agitadores que sirven para que se mezclen los líquidos entre estos agitadores existe una sección de relleno (mallas) que impide la formación de cualquier emulsión.

1.1.5.2. EXTRACTORES POR CONTACTO DIFERENCIALES

- **Columna empacada.-** Admite contactos diferenciales, por lo que el mezclado y la sedimentación se producen de modo continuo y simultáneo. El área vacía de una torre de rocío se la completa con piezas adecuadas con el fin de disminuir la circulación vertical de la fase continua. El relleno disminuye el área libre disponible para el flujo.

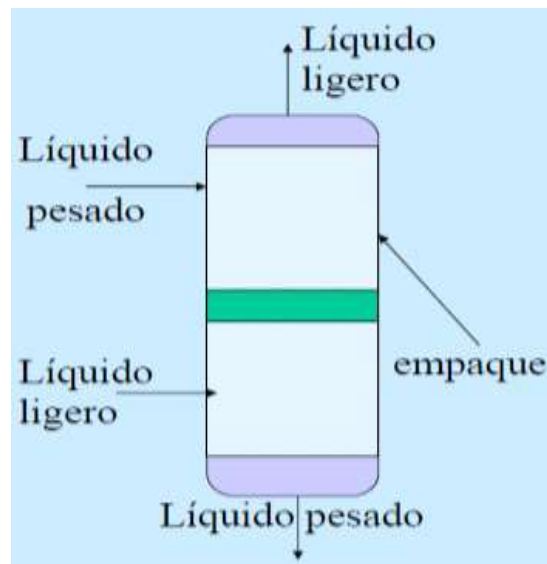


FIGURA N° 9-1: COLUMNA EMPACADA

Fuente: EQUIPOS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDA-LÍQUIDA.

<https://procesosdeseparacion.files.wordpress.com/2014/01/equiposextliq.pdf>

- **Extractor centrífugo de Podbielniak.-** Este equipo es el extractor centrífugo más importante. La rotación se da sobre un eje horizontal, el cuerpo del extractor es un tambor cilíndrico formado por cilindros agujerados concéntricos. Los líquidos se agregan por el eje giratorio, el líquido liviano pasa por el interior hasta el contorno del tambor y el líquido pesado se dirige al eje del tambor.

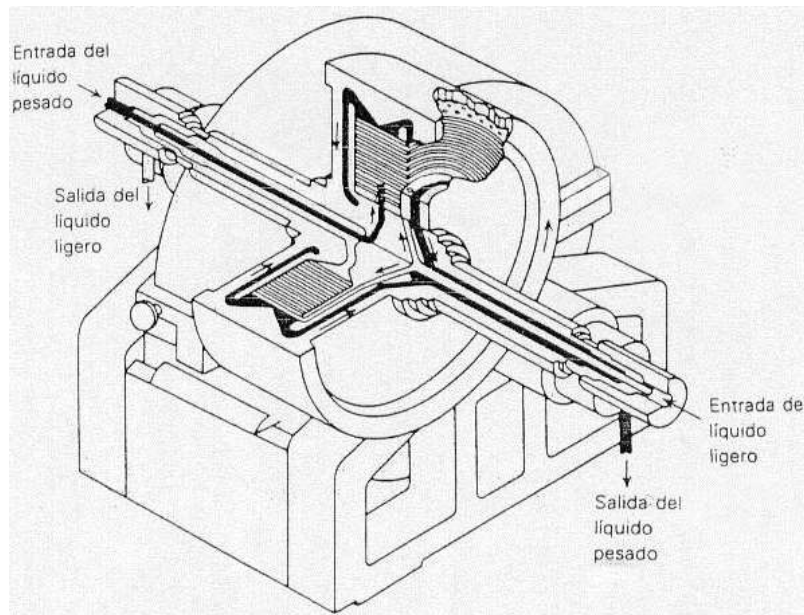


FIGURA N° 10-1: EXTRACTOR CENTRÍFUGO DE PODBIELNIAK

Fuente: EQUIPOS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDA-LÍQUIDA.

<https://procesosdeseparacion.files.wordpress.com/2014/01/equiposextliq.pdf>

- **Columna de Oldshue – Rushton.-** Llamado también Equipo de contacto Mixco Lightnin CM, este equipo para propagar y mezclar los líquidos usa impulsores de turbina de disco de hoja plana, y para reducir el mezclado axial usa platos con compartimientos horizontales.
- **Columna de platos recíprocos de Karr.-** En este equipo las placas agujeradas se desplazan de arriba a abajo con el fin de elevar la agitación y producir pulsación en los líquidos. Con esto se obtiene un tamaño de gota más uniforme, debido a que las fuerzas de cizalla sobre la sección transversal de la torre son bien parecidas.

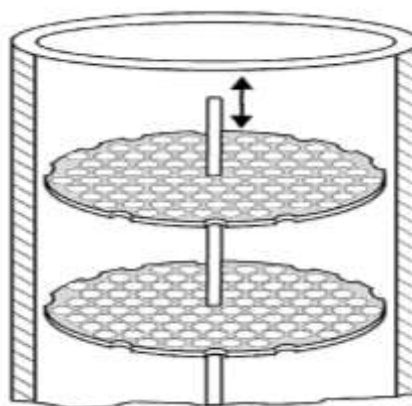


FIGURA N° 11-1: COLUMNA DE PLATOS RECÍPROCOS DE KARR

Fuente: EQUIPOS DE EXTRACCIÓN LÍQUIDA-LÍQUIDA.

<https://procesosdeseparacion.files.wordpress.com/2014/01/equiposextliq.pdf>

- **Equipo de contacto de disco giratorio (RDC).**- Es un equipo muy parecido a los impulsores de tipo turbina, excepto que se eliminan las mamparas verticales y la agitación se consigue de los discos rotatorios, que a menudo giran con velocidades muy elevadas.

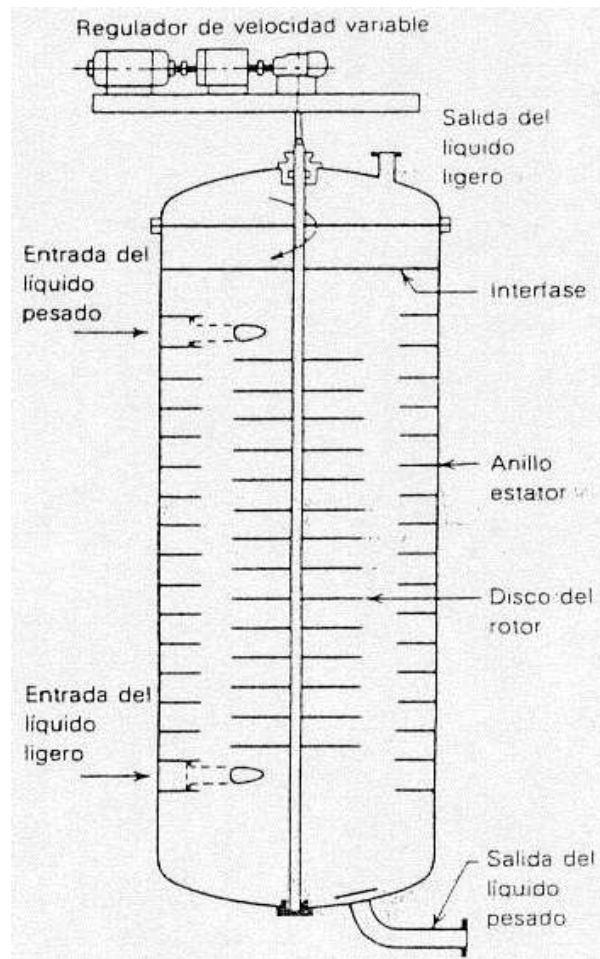


FIGURA N° 12-1: EQUIPO DE CONTACTO DE DISCO GIRATORIO

Fuente: EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO. <http://html.rincondelvago.com/extraccion-de-liquidos.html>

1.2. DISEÑO

Para llevar a cabo el dimensionamiento de un equipo de extracción líquido-líquido, se eligió la columna de SCHEIBEL para lo cual se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Capacidad de los tanques donde va a estar la alimentación y el solvente.
- Cantidad requerida del solvente.
- Capacidad de la columna de extracción.
- Cantidad de extracto y refinado que se va a obtener.

1.2.1. DENSIDAD

Es una medida de magnitud que indica el grado de compactación de un material en un espacio determinado.

1.2.1.1. DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LA ALIMENTACIÓN

$$\rho_F = \rho_A X_A + \rho_B X_B \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

ρ_F = Densidad de la mezcla de alimentación, Kg/L

ρ_A = Densidad del Componente A, Kg/L

X_A = Fracción del Componente A en la Mezcla

ρ_B = Densidad del componente B, Kg/L

X_B = Fracción del Componente B en la Mezcla

1.2.1.2. DENSIDAD ABSOLUTA DE LA MEZCLA

$$\rho_F = \frac{F}{V_F} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

ρ_F = Densidad de la mezcla de alimentación, Kg/L

F = Masa de la mezcla de alimentación, Kg

V_F = Volumen de la mezcla de alimentación, L

1.2.1.3. DENSIDAD ABSOLUTA DEL SOLVENTE

$$\rho_S = \frac{m_S}{V_S} \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

ρ_S = Densidad del Solvente, Kg/L

m_S = Masa de Solvente, Kg

V_S = Volumen del Solvente, L

Se utiliza para calcular la masa del Solvente, que se va ocupar para la extracción.

1.2.2. VOLUMEN

Es un lugar que ocupan los cuerpos en el espacio

1.2.2.1. VOLUMEN DE MALLAS

$$V_m = \pi * r_c^2 * h_m * 1000 \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

V_m = Volumen de la malla, L

r_c = Radio interno de la columna, m

h_m = Altura de la malla, m

1.2.2.2. VOLUMEN TOTAL DE LAS MALLAS

$$V_{mT} = V_m * \# \text{ de mallas} \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

V_{mT} = Volumen total de las mallas, L

V_m = Volumen de la malla, L

1.2.2.3. VOLUMEN DE LA COLUMNA

$$V_c = (\pi * r_c^2 * h_c * 1000) - V_{mT} \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

V_c = Volumen de la columna, L

r_c = Radio interno de la columna, m

h_c = Altura de la columna, m

V_{mT} = Volumen total de las mallas, L

1.2.2.4. VOLUMEN REQUERIDO DE ALIMENTACIÓN

$$V_F = V_{iF} - V_{fF} \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

V_F = Volumen requerido de alimentación, L

V_{iF} = Volumen inicial de alimentación, L

V_{fF} = Volumen final de alimentación, L

1.2.2.5. VOLUMEN REQUERIDO DE SOLVENTE

$$V_s = V_{is} - V_{fs} \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

V_s = Volumen requerido de solvente, L

V_{is} = Volumen inicial de solvente, L

V_{fs} = Volumen final de solvente, L

1.2.3. COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN

$$k_A = \frac{x_{AE}}{x_{AR}} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

k_A = Coeficiente de distribución o coeficiente de reparto

x_{AE} = fracción del componente A en el extracto

x_{AR} = fracción del componente A en el refinado

Tomando en cuenta que A es el componente que se desea extraer.

1.3. EXPERIMENTO

1.3.1. FÓRMULAS DE LA PARTE EXPERIMENTAL

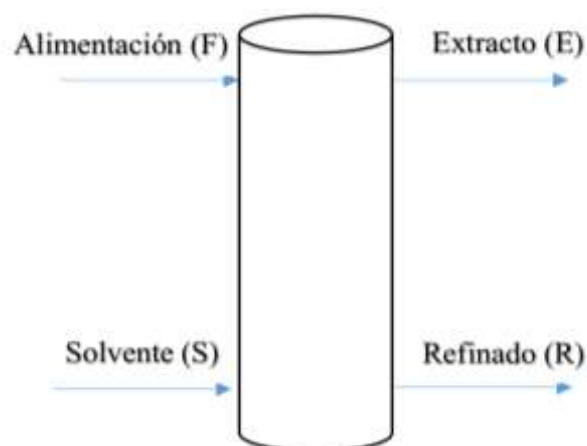


GRÁFICO N° 1-1: ESQUEMA DE LA COLUMNA
Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

1.3.1.1. BALANCE TOTAL DE MASA

$$\mathbf{F + S = E + R} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

F = Cantidad de alimentación, kg

S = Cantidad de Solvente, kg

E = Cantidad de Extracto, kg

R = Cantidad de Refinado, kg

1.3.1.2. BALANCE DE MASA PARA EL COMPONENTE A

$$F x_{AF} = E x_{AE} + R x_{AR} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

F = Cantidad de alimentación, kg

E = Cantidad de Extracto, kg

R = Cantidad de Refinado, kg

x_{AF} = Fracción del componente A en la alimentación.

x_{AE} = Fracción del componente A en el extracto.

x_{AR} = Fracción del componente A en el refinado.

1.3.1.3. BALANCE DE MASA PARA EL COMPONENTE B

$$F x_{BF} = R x_{BR} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

F = Cantidad de alimentación, kg

R = Cantidad de Refinado, kg

x_{BF} = Fracción del componente B en la alimentación.

x_{BR} = Fracción del componente B en el refinado.

1.3.1.4. BALANCE DE MASA PARA EL SOLVENTE

$$Sx_S = Ex_{ES} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

S = Cantidad de solvente, kg

E = Cantidad de Extracto, kg

x_S = Fracción del solvente.

x_{ES} = Fracción del solvente en el extracto.

1.3.1.5. MASA DEL COMPONENTE A EN EL EXTRACTO

$$m_{AE} = Ex_{AE} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

m_{AE} = Cantidad del componente A en el extracto, kg

E = Cantidad de Extracto, kg

x_{AE} = Fracción del Componente A en el extracto.

1.3.1.6. MASA DEL COMPONENTE A EN EL REFINADO

$$m_{AR} = Rx_{AR} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

m_{AR} = Cantidad del componente A en el Refinado, kg

R = Cantidad de Refinado, kg

x_{AR} = Fracción del Componente A en el refinado.

1.3.1.7. MASA DEL COMPONENTE B EN EL REFINADO

$$m_{BR} = Rx_{BR} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

m_{BR} = Cantidad del componente B en el Refinado, kg

R = Cantidad de Refinado, kg

x_{BR} = Fracción del Componente B en el refinado.

1.3.1.8. MASA DEL SOLVENTE EN EL EXTRACTO

$$m_{SE} = E x_{SE} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

m_{SE} = Cantidad del Solvente en el extracto, kg

E = Cantidad de Extracto, kg

x_{SE} = Fracción del Solvente en el extracto.

1.3.1.9. MASA DEL COMPONENTE A EN LA ALIMENTACIÓN

$$m_{AF} = F x_{AF} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

m_{AF} = Cantidad del componente A en la alimentación, kg

F = Cantidad de Alimentación, kg

x_{AF} = Fracción del Componente A en la alimentación.

1.3.1.10. CANTIDAD DE EXTRACTO

$$E = m_{AE} + m_{SE} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

E = Cantidad de Extracto, kg

m_{AE} = Cantidad del Componente A en el Extracto, kg

m_{SE} = Cantidad del Solvente en el extracto.

1.3.1.11. CANTIDAD DE REFINADO.

$$R = m_{BR} + m_{AR} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

R = Cantidad de Refinado, kg

m_{BR} = Cantidad del Componente B en el Refinado, kg

m_{AR} = Cantidad del componente A en el Refinado, kg

1.3.1.12. FRACCIÓN DEL COMPONENTE A EN EL EXTRACTO

$$x_{AE} = \frac{m_{AE}}{m_{AE} + m_{SE}} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

x_{AE} = Fracción del componente A en el Extracto

m_{AE} = Cantidad del componente A en el extracto, kg

m_{SE} = Cantidad del Solvente en el extracto, kg

1.3.1.13. FRACCIÓN DEL COMPONENTE A EN EL REFINADO.

$$x_{AR} = \frac{m_{AR}}{m_{AR} + m_{BR}} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

x_{AR} = Fracción del componente A en el Refinado

m_{AR} = Cantidad del componente A en el Refinado, kg

m_{BR} = Cantidad del Componente B en el Refinado, kg

1.3.1.14. EFICIENCIA DE LA EXTRACCIÓN

$$Ef = \frac{m_{AE}}{m_{AF}} * 100 \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

Ef = Eficiencia de extracción, %

m_{AE} = Cantidad del componente A en el extracto, kg

m_{AF} = Cantidad del componente A en la alimentación, kg

1.3.1.15. RENDIMIENTO DEL EQUIPO

$$\%R = \frac{x_{AE\text{Real}}}{x_{AE}} * 100 \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

$\%R$ = Rendimiento del Equipo, %

$x_{AE\text{Real}}$ = fracción del componente A en el extracto que se obtuvo del equipo

x_{AE} = fracción del componente A en el extracto

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. MUESTREO

Para realizar la Operación Unitaria de extracción líquido-líquido de un sistema ternario y obtener un compuesto deseado se analizó varios sistemas existentes para esta técnica, donde se tomó en cuenta varias características, fundamentalmente lo factible que puede ser realizarlo en el laboratorio. Para esto se tomaron en cuenta tres sistemas: Etanol-Agua-Benceno, Acetona-Agua-Metilisobutilcetona, Etanol-Gasolina-Agua.

El muestreo se efectuó por un método aleatorio con frecuencia de un sistema por cada dos días, por un lapso de seis días con un total de tres prácticas.

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1.1. MÉTODOS

En el presente proyecto utilizamos los métodos: inductivo y deductivo, para encontrar de manera experimental un sistema ternario que nos permita identificar las variables de operación y la metodología adecuada para la extracción líquido-líquido, y así obtener el mayor porcentaje de extracción.

2.2.1.1.1. Inductivo

Este método parte desde lo simple a lo más complejo, a partir del muestreo de los compuestos químicos necesarios para sistemas ternarios en las diferentes casas comerciales del Ecuador, se pudo establecer el sistema ternario de mejor factibilidad y a través de prácticas de extracción líquido-líquido realizadas en el laboratorio se obtuvieron los datos necesarios para determinar la altura de la columna de extracción, el flujo de la alimentación y solvente.

2.2.1.1.2. Deductivo

Este método parte de lo complejo a lo más simple, con los datos obtenidos de la práctica de extracción líquido-líquido se determinó la altura de la columna de extracción, el flujo de la alimentación y solvente. Los compuestos químicos necesarios para sistemas ternarios se obtuvieron muestreando las diferentes casas comerciales del Ecuador, con esto se estableció el sistema ternario de mejor factibilidad.

2.2.1.2. TÉCNICAS

Las técnicas utilizadas fueron: Simulación y Observancia.

2.2.1.3. EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN

TABLA N°1-2: EFICIENCIA DE LA EXTRACCIÓN

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
La eficiencia de la extracción es medir el porcentaje de soluto (acetona), transferida de la alimentación al extracto.	Refractómetro Tabla de densidades. Tabla estipulando las concentraciones de acuerdo al índice de refracción.	Medir el índice de refracción del extracto. Determinar con el índice de refracción la concentración del soluto en el extracto ocupando la tabla establecida para esta. Calcular la masa de soluto en el extracto. Calcular la masa de soluto en la alimentación teniendo en cuenta la concentración preparada. Aplicar la fórmula.	Masa de soluto en el extracto: $m_{AE} = E x_{AE}$ Donde: m_{AE} = Cantidad del componente A en el extracto, kg E = Cantidad de Extracto, kg x_{AE} = Fracción del Componente A en el extracto. Eficiencia de extracción: $Ef = \frac{m_{AE}}{m_{AF}} * 100$ Donde: Ef = Eficiencia de extracción, % m_{AE} = Cantidad del componente A en el extracto, kg m_{AF} = Cantidad del componente A en la alimentación, kg

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

2.2.1.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE EXTRACCIÓN

TABLA N° 2-2: DIMENSIONAMIENTO DE LA COLUMNA DE EXTRACCIÓN

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
Necesitamos una columna que tenga la capacidad de 6 L para que pueda soportar una relación 1:1 de alimentación-solvente, y de esa manera evidenciar la extracción, teniendo en cuenta que se colocaran 6 mallas de acero que funcionaran como resistencias cada una con una altura individual de 4.34 cm, para esto asumimos un diámetro interno coherente de 7.5 cm.	Flexómetro. Pie de rey.	Se prepara una alimentación de 3 L para una relación 1:1 con el disolvente por lo que la columna trabaja con 6 L para la extracción. Se asume un diámetro interno de 7.5cm, para calcular la altura. Calculamos la altura total de las mallas. Aplicamos la fórmula	<p>Cálculo del radio:</p> $r = \frac{\phi}{2}$ <p>Donde: r = Radio Interno cm ϕ = Diámetro Interno cm</p> <p>Cálculo de la altura de las mallas</p> $h_m = \# \text{ de mallas} * h_{i_m}$ <p>Donde: h_m = altura total de mallas (cm) h_{im} = Altura Individual de cada malla</p> <p>Cálculo de la altura de la columna de extracción.</p> $h = \frac{V}{r^2 * \pi} + h_m$ <p>Dónde: h = Altura de la columna V = Volumen. r = Radio Interno. h_m = altura total de mallas (cm)</p>

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

2.3. DATOS DE DISEÑO

2.3.1. DIAGNÓSTICO

El diseño y construcción de un extractor líquido-líquido para un sistema ternario ha desarrollado la aplicación de esta técnica para la separación de compuestos líquidos que no se pueden o son más difíciles de separar por otras técnicas como destilación, evaporación, entre otras. Impulsado el estudio de ésta innovadora tecnología para la separación de compuestos que se puedan mejorar la pureza, siendo esta amigable con el ambiente por sus bajos costos energéticos y en ciertos casos los bajos costos de producción.

Para el diseño del equipo de extracción se escogió de los varios tipos de extractores el conocido como Columna de Scheibel para la cual obtuvimos los datos basados en simulaciones experimentales a nivel de laboratorio para identificar las variables operativas del proceso. Estos datos podemos observarlos a continuación:

2.3.2. DATOS

Para obtener las tablas de calibración de las mezclas se prepararon soluciones a distintas concentraciones conocidas las que tienen un rango de 0 a 100 % en volumen de acetona con variaciones de 10 en 10, a las que se les media el índice de refracción con un refractómetro de ABBE, esto se realizaba con tres soluciones a la misma concentración para obtener resultados más confiables con la media de estos, esto nos ayuda para obtener las concentraciones tanto en el extracto (Acetona – MIBC) como en el refinado (Acetona – Agua).

2.3.2.1. ACETONA-AGUA

TABLA N° 3-2: DATOS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN, MEDIDOS PARA LAS SOLUCIONES DE ACETONA-AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE.

Concentración nominal	Índice de refracción			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
(% en volumen de acetona)				
100	1,3592	1,3592	1,3591	1,3592
90	1,3542	1,3540	1,3544	1,3542

80	1,3502	1,3502	1,3503	1,3502
70	1,3465	1,3466	1,3464	1,3465
60	1,3431	1,3431	1,3430	1,3431
50	1,3415	1,3416	1,3417	1,3416
40	1,3402	1,3403	1,3403	1,3403
30	1,3381	1,3381	1,3382	1,3381
20	1,3349	1,3350	1,3349	1,3349
10	1,3320	1,3321	1,3321	1,3321
0	1,3302	1,3301	1,3301	1,3301

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015. Refractómetro 3438 UCB ESPOCH.

2.3.2.2. ACETONA-METILISOBUTILCETONA

TABLA N° 4-2: DATOS DE LOS ÍNDICES DE REFRACCIÓN, MEDIDOS PARA LAS SOLUCIONES DE ACETONA-METILISOBUTILCETONA (MIBC) A TEMPERATURA AMBIENTE

Concentración nominal	Índice de refracción			
(% en volumen de acetona)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
100	1,3592	1,3592	1,3591	1,3592
90	1,3625	1,3625	1,3626	1,3625
80	1,3661	1,3662	1,3662	1,3662
70	1,3702	1,3702	1,3703	1,3702
60	1,3755	1,3754	1,3756	1,3755
50	1,3801	1,3802	1,3802	1,3802
40	1,3825	1,3826	1,3826	1,3826
30	1,3848	1,3848	1,3848	1,3848
20	1,3871	1,3871	1,3870	1,3871
10	1,3895	1,3895	1,3896	1,3895
0	1,3939	1,3940	1,3940	1,3940

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015. Refractómetro 3438 UCB ESPOCH.

2.3.2.3. CONCENTRACIONES DE ACETONA A DISTINTAS RELACIONES

TABLA N°5-2: DATOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN A DISTINTAS RELACIONES

Relación	Fase (A-MIBC)		Fase (A-H ₂ O)	
	Índice de refracción	Concentración	Índice de refracción	Concentración
1:1	1,3862	23,91	1,3343	17,86
1:2	1,3881	15,83	1,3320	9,5
1:3	1,3892	11,25	1,3316	7,5

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

2.3.2.4. DENSIDADES

Se partió de densidades conocidas y para verificar los resultados se comprobó experimentalmente con un picnómetro al que mediamos su peso para cada compuesto y con el volumen que se colocaba se determinó la densidad de estos ocupando la fórmula de densidad.

TABLA N°6-2: DENSIDADES DE LOS COMPUESTOS

COMPUESTO	UNIDAD	VALOR
Acetona	g/ml	0,791
Metilisobutilcetona	g/ml	0,802
Agua	g/ml	0,998

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

2.3.2.5. DATOS ADICIONALES

TABLA N°7-2: DATOS ADICIONALES PARA EL SISTEMA ACETONA-AGUA-MIBC

PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
Presión atmosférica	mmHg	556
Temperatura ambiente	°C	25
Coefficiente de distribución	-	1.91

Fuente: COLUMNA DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO. [http://dspace.universia.net/bitstream/2024/893/1/PROYECTO+PARTE+1. pdf](http://dspace.universia.net/bitstream/2024/893/1/PROYECTO+PARTE+1.pdf)

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. CÁLCULOS

3.1.1. CAPACIDAD DE LA COLUMNA DE EXTRACCIÓN (SCHEIBEL)

3.1.1.1. VOLUMEN DE MALLAS DE ACERO

Diámetro (D_m) = 0,075 m (asumidos)

Radio (r_m) = 0,0375 m

Altura (h_m) = 0,0434 m

Reemplazamos los datos en (4) y se tiene:

$$\begin{aligned}V_m &= \pi * r_c^2 * h_m * 1000 \\V_m &= \pi(0,0375)^2(0,0434) * 1000 \\V_m &= 1,9173 \times 10^{-4} m^3 \\V_m &= 0,1917 L\end{aligned}$$

Reemplazando V_m en (5) se tiene:

$$\begin{aligned}V_{mT} &= V_m \times \#de\ mallas \\V_{mT} &= 0,1917 \times 6 \\V_{mT} &= 1,1502 L\end{aligned}$$

3.1.1.2. VOLUMEN TOTAL DE LA COLUMNA

Diámetro (D_i) = 0,075 m (asumidos)

Radio (r_i) = 0,0375 m

Altura (h) = 1,62 m

Reemplazamos los datos en (6) y se tiene:

$$\begin{aligned}V_c &= (\pi * r_c^2 * h_c * 1000) - V_{mT} \\V_c &= \pi(0,0375)^2(1,62) - 1,1502 \\V_c &= 7,1569 - 1,1502 \\V_c &= 6,0067 L\end{aligned}$$

Este volumen se tienen cuando la columna se encuentra completamente llena, por motivos de seguridad la columna debe estar llena hasta un máximo de 90% de su capacidad total.

3.1.1.3. DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LA ALIMENTACIÓN

Ocupando (1) y la tabla N°6 tenemos:

$$\rho_F = \rho_A X_A + \rho_B X_B$$

$$\rho_F = 0,791(0,4) + 0,998(0,6)$$

$$\rho_F = 0,915 \frac{Kg}{L}$$

Esta densidad se ocupa tanto en los cálculos teóricos como en los prácticos por lo que la concentración de acetona en la mezcla de alimentación es la misma.

3.2. CÁLCULOS TEÓRICOS

De acuerdo con los volúmenes tomados experimentalmente y en relación 1:1 tenemos los siguientes volúmenes teóricos:

$$V_F = 2,6 L$$

$$V_S = 2,6 L$$

3.2.1. MASA DE ALIMENTACIÓN

Ocupando (2) tenemos:

$$\rho_F = \frac{m_F}{V_F}$$

$$m_F = \rho_F * V_F$$

$$m_F = 0,915 * 2,6$$

$$m_F = 2,379 Kg$$

3.2.2. DENSIDAD DEL SOLVENTE

En (3) remplazamos los datos y tenemos:

$$\rho_S = \frac{m_S}{V_S}$$

$$m_S = \rho_S * V_S$$

$$m_S = 0,802 * 2,6$$

$$m_S = 2,805 Kg$$

3.2.3. BALANCE DE MASA PARA LA ACETONA

En (11) remplazamos los datos y tenemos:

$$Fx_{AF} = Ex_{AE} + Rx_{AR}$$

$$2,379 * 0,4 = m_{AE} + m_{AR}$$

$$0,952 = m_{AE} + m_{AR}$$

$$0,952 - m_{AR} = m_{AE}$$

3.2.4. BALANCE DE MASA PARA EL AGUA

En (12) remplazamos los datos y tenemos:

$$Fx_{BF} = Rx_{BR}$$

$$2,379 * 0,6 = m_{BR}$$

$$\mathbf{m_{BR} = 1,428 Kg}$$

3.2.5. BALANCE DE MASA PARA EL SOLVENTE

En (13) remplazamos los datos y tenemos:

$$Sx_S = Ex_{ES}$$

$$2,085 * 1 = m_{SE}$$

$$\mathbf{m_{SE} = 2,085 Kg}$$

3.2.6. COEFICIENTE DE DISTRIBUCIÓN

En (9) remplazamos los datos y tenemos:

$$k_A = \frac{x_{AE}}{x_{AR}}$$

$$k_A = \frac{\frac{m_{AE}}{m_{AE} + m_{SE}}}{\frac{m_{AR}}{m_{AR} + m_{BR}}}$$

$$1,91 = \frac{m_{AE}(m_{AR} + m_{BR})}{m_{AR}(m_{AE} + m_{SE})}$$

Remplazando m_{AE} del punto 3.2.3. en esta ecuación tenemos:

$$1,91 = \frac{(0,952 - m_{AR})(m_{AR} + m_{BR})}{m_{AR}(0,952 - m_{AR} + m_{SE})}$$

$$1,91 = \frac{0,952m_{AR} + (0,952)(1,428) - m_{AR}^2 - 1,428m_{AR}}{0,952m_{AR} - m_{AR}^2 + 2,085m_{AR}}$$

$$1,91(3,037m_{AR} - m_{AR}^2) = -m_{AR}^2 - 0,476m_{AR} + 1,359$$

$$-0,91m_{AR}^2 + 6,277m_{AR} - 1,359 = 0$$

$$m_{AR} = x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$m_{AR} = 0,224 \text{ Kg}$$

El valor de m_{AR} reemplazando en el punto 3.2.3. Tenemos:

$$0,952 - 0,224 = m_{AE}$$

$$m_{AE} = 0,728 \text{ Kg}$$

3.2.7. CANTIDAD DE EXTRACTO

En (19) reemplazamos datos y tenemos:

$$E = m_{AE} + m_{SE}$$

$$E = 0,728 + 2,085$$

$$E = 2,813 \text{ Kg}$$

3.2.8. FRACCIÓN EN PESO DE SOLVENTE EN EL EXTRACTO

En (17) Reemplazamos datos y tenemos:

$$m_{SE} = E x_{SE}$$

$$x_{SE} = \frac{m_{SE}}{E}$$

$$x_{SE} = \frac{2,085}{2,813}$$

$$x_{SE} = 0,74$$

3.2.9. FRACCIÓN EN PESO DE ACETONA EN EL EXTRACTO.

Sabiendo que la sumatoria de las fracciones de los compuestos en una mezcla es 1 tenemos:

$$1 = x_{SE} + x_{AE}$$

$$x_{AE} = 1 - x_{SE}$$

$$x_{AE} = 1 - 0,74$$

$$x_{AE} = 0,26$$

3.2.10. CANTIDAD DE REFINADO

En (20) remplazamos datos tenemos:

$$\begin{aligned}R &= m_{BR} + m_{AR} \\R &= 1,428 + 0,224 \\R &= \mathbf{1,652\ Kg}\end{aligned}$$

3.2.11. FRACCIÓN EN PESO DE AGUA EN EL REFINADO

En (16) remplazamos datos tenemos:

$$\begin{aligned}m_{BR} &= Rx_{BR} \\x_{BR} &= \frac{m_{BR}}{R} \\x_{BR} &= \frac{1,428}{1,652} \\x_{BR} &= \mathbf{0,86}\end{aligned}$$

3.2.12. FRACCIÓN EN PESO DE ACETONA EN EL REFINADO

Sabiendo que la sumatoria de las fracciones de los compuestos en una mezcla es 1 tenemos:

$$\begin{aligned}1 &= x_{BR} + x_{AR} \\x_{AR} &= 1 - x_{BR} \\x_{AE} &= 1 - 0,86 \\x_{AE} &= \mathbf{0,14}\end{aligned}$$

3.2.13. CANTIDAD DE ACETONA EN LA ALIMENTACIÓN

En (18) remplazamos los datos y tenemos.

$$\begin{aligned}m_{AF} &= Fx_{AF} \\m_{AF} &= 2,379 * 0,4 \\m_{AF} &= \mathbf{0,952\ Kg}\end{aligned}$$

3.2.14. EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN

En (23) remplazamos los datos y tenemos:

$$\begin{aligned}Ef &= \frac{m_{AE}}{m_{AF}} * 100 \\Ef &= \frac{0,728}{0,952} * 100 \\Ef &= \mathbf{76,47\ \%}\end{aligned}$$

3.3. CÁLCULOS REALES TOMADOS DURANTE LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO

3.3.1. VOLUMEN UTILIZADO DE ALIMENTACIÓN

En (7) reemplazamos los datos y tenemos:

$$V_F = V_{iF} - V_{fF}$$

$$V_F = 5 - 2,5$$

$$V_F = 2,5 \text{ L}$$

3.3.2. VOLUMEN UTILIZADO DE SOLVENTE

En (8) reemplazamos los datos y tenemos:

$$V_S = V_{is} - V_{fs}$$

$$V_S = 4 - 1,3$$

$$V_S = 2,7 \text{ L}$$

3.3.3. CONCENTRACIÓN DE ACETONA EN EL EXTRACTO

Usando el refractómetro tenemos la medida del índice de refracción en el extracto

$$\mathbf{IR_E = 1,3866}$$

Interpolando en las tablas correspondientes tenemos la concentración de:

$$\mathbf{22\%}$$

3.3.4. CONCENTRACIÓN DEL SOLVENTE EN EL EXTRACTO

Sabiendo que la concentración de acetona en el extracto es 22% tenemos que la concentración de MIBC es:

$$\mathbf{78\%}$$

3.3.5. CONCENTRACIÓN DE ACETONA EN EL REFINADO

Usando el refractómetro tenemos la medida del índice de refracción en el extracto

$$\mathbf{IR_R = 1,3341}$$

Interpolando en las tablas correspondientes tenemos la concentración de:

$$\mathbf{17\%}$$

3.3.6. CONCENTRACIÓN DEL AGUA EN EL REFINADO

Sabiendo que la concentración de acetona en el refinado es 17% tenemos que la concentración de agua es:

$$83\%$$

3.3.7. DENSIDAD DEL EXTRACTO

Sabiendo la ecuación que precede al cálculo de la densidad tenemos:

$$\begin{aligned}\rho_E &= \rho_S X_{SE} + \rho_A X_{AE} \\ \rho_E &= 0,802(0,78) + 0,791(0,22) \\ \rho_E &= 0,799 \frac{Kg}{L}\end{aligned}$$

3.3.8. MASA DEL EXTRACTO

Sabiendo la ecuación que precede al cálculo de la cantidad de alimentación tenemos:

$$\begin{aligned}\rho_E &= \frac{E}{V_E} \\ E &= \rho_E * V_E \\ E &= 0,799 * 3,5 \\ E &= 2,796 \text{ Kg}\end{aligned}$$

3.3.9. CANTIDAD DE ACETONA EN EL EXTRACTO

En (14) reemplazamos datos y tenemos:

$$\begin{aligned}m_{AE} &= E x_{AE} \\ m_{AF} &= 2,796 * 0,22 \\ m_{AF} &= 0,615 \text{ Kg}\end{aligned}$$

3.3.10. CANTIDAD DE ALIMENTACIÓN

En (2) reemplazamos datos y tenemos:

$$\begin{aligned}\rho_F &= \frac{F}{V_F} \\ F &= \rho_F * V_F \\ F &= 0,915 * 2,5 \\ F &= 2,288 \text{ Kg}\end{aligned}$$

3.3.11. CANTIDAD DE ACETONA EN LA ALIMENTACIÓN

En (18) reemplazamos datos y tenemos:

$$\begin{aligned}m_{AF} &= F x_{AF} \\m_{AF} &= 2,288 * 0,4 \\m_{AF} &= \mathbf{0,915\ Kg}\end{aligned}$$

3.3.12. EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN

En (23) reemplazamos los datos y tenemos:

$$\begin{aligned}Ef &= \frac{m_{AE}}{m_{AF}} * 100 \\Ef &= \frac{0,615}{0,915} * 100 \\Ef &= \mathbf{67,21\ \%}\end{aligned}$$

3.3.13. RENDIMIENTO DEL EQUIPO

En (24) reemplazamos los datos y tenemos:

$$\begin{aligned}\%R &= \frac{x_{AEReal}}{x_{AE}} * 100 \\\%R &= \frac{0,22}{0,26} * 100 \\\%R &= \mathbf{84,62\%}\end{aligned}$$

3.4. RESULTADOS

3.4.1. RESULTADOS EN EL EXTRACTO

TABLA N° 8-3: RESULTADOS DE LAS FRACCIONES EN EL EXTRACTO

Extracto	Acetona	MIBC
Real	0,22	0,78
Teórico	0,26	0,74

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

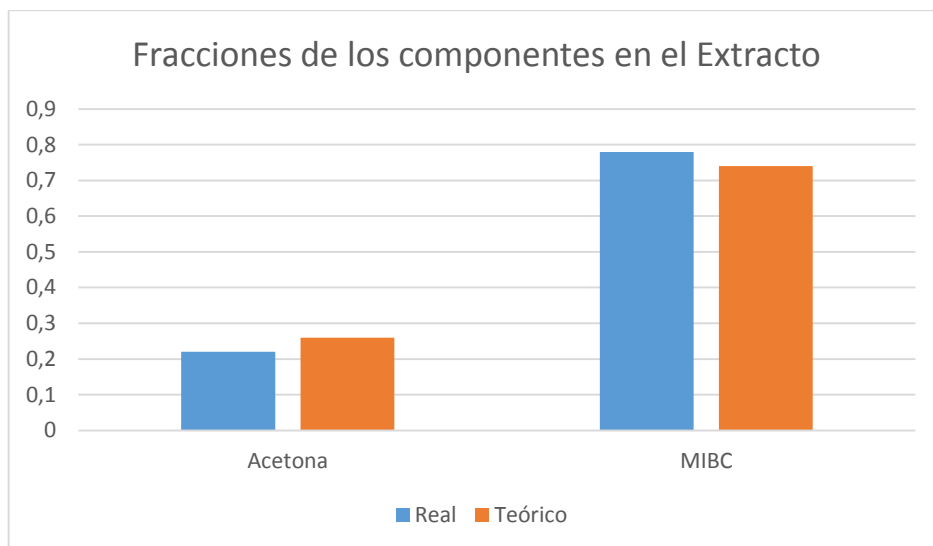


GRÁFICO N° 2-3: FRACCIONES DE LOS COMPONENTES EN EL EXTRACTO
Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.4.2. RESULTADOS EN EL REFINADO

Tabla N° 9-3: RESULTADOS DE LAS FRACCIONES EN EL REFINADO

Refinado	Agua	Acetona
Real	0,83	0,17
Teórico	0,86	0,14

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

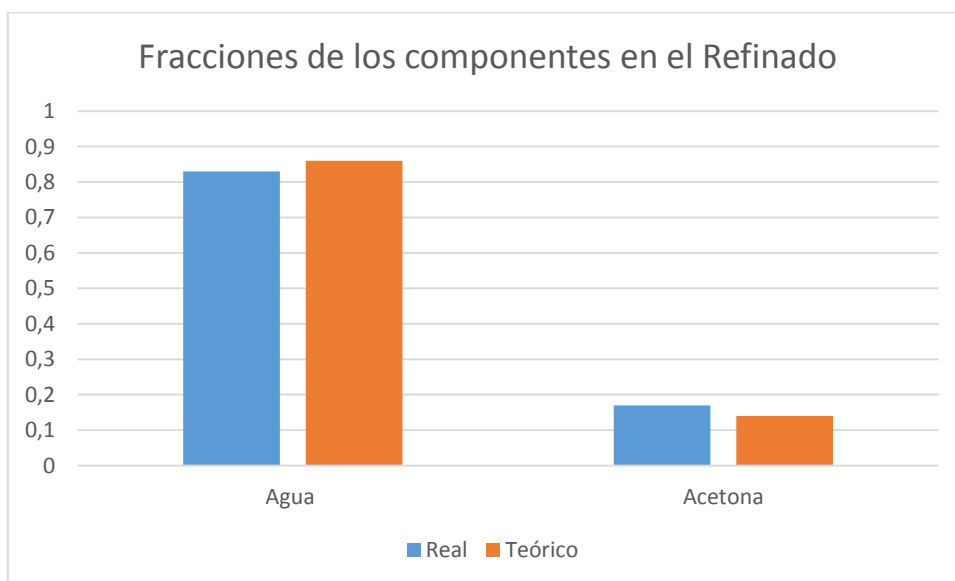


GRÁFICO N° 3-3: FRACCIONES DE LOS COMPONENTES EN EL REFINADO
Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.4.3. RESULTADOS DE LAS EFICIENCIAS DE EXTRACCIÓN

Tabla N ° 10-3: RESULTADOS DE LAS EFICIENCIAS DE EXTRACCIÓN

Eficiencia	
Real	67,21
Teórico	76,47

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

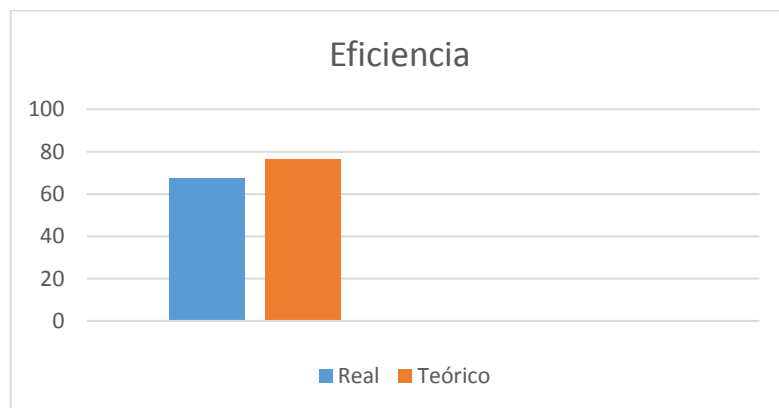


GRÁFICO N° 4-3: EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN

Fuente: MOLINA, J; PACHECO, F. Laboratorio de Procesos Industriales. ESPOCH 2015

3.4.4. RESULTADOS DEL EXTRACTOR LÍQUIDO – LÍQUIDO.

TABLA N °11-3: RESULTADOS DEL EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO

Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
V_F	2,5	L	Cálculos Reales
V_S	2,7	L	
E	2,796	<i>Kg</i>	
m_{AE}	0,615	<i>Kg</i>	
m_{AF}	0,915	<i>Kg</i>	
x_{AE}	0,22	<i>Kg A/Kg E</i>	
x_{SE}	0,78	<i>Kg S/Kg E</i>	
x_{AR}	0,17	<i>Kg A/Kg R</i>	
x_{BR}	0,83	<i>Kg B/Kg R</i>	Cálculos teóricos
V_F	2,6	L	
V_S	2,6	L	
E	2,813	<i>Kg</i>	
R	1,652	Kg	

m_{AE}	0,728	Kg	
m_{AF}	0,952	Kg	
x_{AE}	0,26	$Kg A/Kg E$	
x_{SE}	0,74	$Kg S/Kg E$	
x_{AR}	0,14	$Kg A/Kg R$	
x_{BR}	0,86	$Kg B/Kg R$	

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

TABLA N° 12-3: RESULTADOS DE LAS EFICIENCIAS Y RENDIMIENTO DEL EXTRACTOR LÍQUIDO - LÍQUIDO

Parámetro	Valor	Unidad	Procedencia
Ef	67,21	%	Eficiencia Real
Ef	76,47	%	Eficiencia Teórica
% R	84,62	%	Rendimiento del equipo

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.5. PROPUESTA DE DISEÑO

TABLA N° 13-3: DIMENSIONAMIENTO DEL EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO

NÚMERO DE RECIPIENTES DE CARGA		2		
CAPACIDAD POR RECIPIENTE DE CARGA		28 L		
CAPACIDAD COLUMNA DE EXTRACCIÓN		6L		
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN		ACRILICO, HPDE		
DIMENSIONES				
ELEMENTOS DIMENSIONES	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	VOLUMEN (L)	ANCHO (cm)
COLUMNA DE EXTRACCIÓN	7,5	162	7,15	-
RECIPIENTES DE CARGA	-	-	28	-

ESTRUCTURA METALICA	-	246	-	49
VISUALIZADOR DE FLUJO				
2 Rotámetros conectados a las tuberías de ingreso a la columna, con una escala de 10 a 350 L/h del tanque de alimentación y del tanque del disolvente con una escala de 2 a 100L/h.				
FUENTE DE IMPULSIÓN				
Una bomba de impulsión de 0,5 HP. Con una Hmax de 40 m y un Qmax de 0-40 (L/min) y fuente de corriente de 110V				
Un Motor de transmisión o velocidad de hasta 1725 RPM, con un fuerza de 1/8 HP y fuente de corriente de 110V.				

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.5.1. ANÁLISIS DE COSTOS

3.5.1.1. COSTOS DE INVERSIÓN

3.5.1.1.1. Recursos materiales

TABLA N° 14-3: RECURSOS MATERIALES

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL (\$)
Plancha de Acrílico de 10mm	1	450,00	450,00
Válvulas de aguja	2	65,00	130,00
Tanques de HPDE	2	10,00	20,00
Bomba de impulsión	1	75,00	75,00
Motor de transmisión	1	150,00	150,00
Break de encendido motor, bomba	1	25,00	25,00
Tubería PVC	1	15,00	15,00
Accesorios	60	1,50	90,00
Pernos y tuercas	32	0,50	16,00
Mallas de acero	6	5	30,0
Eje de acero y aspas	1	40,00	40,00
Rotámetros	2	115,00	230,00
Medidores de nivel	2	8,00	16,00

Tubería de cobre	7	2,20	15,40
Estructura metálica	1	140,00	140,00
TOTAL			1442,40

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.5.1.1.2. Recursos Humanos

TABLA N°15-3: RECURSOS HUMANOS

DENOMINACIÓN	COSTO (\$)
Mano de obra para la construcción del equipo	1200,00
TOTAL	1200,00

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.5.1.1.3. Costos de Producción

TABLA N°16-3: COSTOS DE PRODUCCIÓN

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL (\$)
Acetona (L)	2	15	30,00
Agua destilada (L)	3	1,32	3,96
Metilisobutilcetona (L)	2,7	13	35,10
TOTAL			69,06

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.5.1.1.4. Recursos Totales

TABLA N°17-3: RECURSOS TOTALES

ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL(\$)
Transporte	-	-	100,00
Impresiones y copias	1000	0,04	40,00
Empastado	4	6,00	24,00
Anillados	6	1,00	6,00
Internet/día	60	0,60	36,00

Recursos materiales	-	-	1442,40
Recursos Humanos	-	-	1200,00
Costos de Producción	-	-	69,06
TOTAL			2917,46

Elaborado por: MOLINA, J; PACHECO, F. 2015

3.6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como propósito identificar las variables de proceso de extracción líquido – líquido para un sistema ternario, con lo cual se pudo diseñar y construir el equipo de extracción con materiales resistentes a los disolventes que se ocupan para la extracción, en este caso los materiales usados fueron acrílico, cobre, HPDE, PVC y acero en su gran mayoría.

Entre varios sistemas probados experimentalmente se eligió el sistema Acetona – Agua – MIBC, debido a que hubo la facilidad de conseguir los compuestos a utilizar y teníamos la información necesaria para desarrollar la práctica con el equipo obteniéndose resultados positivos en cuanto a funcionabilidad y toma de datos, evidenciando visualmente la formación de 2 capas en la columna de extracción.

En el tanque de alimentación se cargó 5 litros de Acetona-Agua de los cuales se utilizó 2,5L los que ingresaron a la columna de extracción, y se extrajo la acetona con 2,7 L de MIBC lo que nos dio una eficiencia de extracción del 67,21% lo que significó que se extrajo una cantidad de 0,615 Kg de acetona en una relación 1:1, esta se pudo evidenciar una vez medido el índice de refracción en el extracto el cual nos ayudó a determinar la concentración de la acetona en este.

En base a los datos obtenidos y después de realizar los cálculos necesarios el Extractor Líquido-Líquido arrojó un rendimiento del 84,62% que se considera aceptable debido a la cantidad de extracto que este tuvo, y se podría mejorar el rendimiento disminuyendo los errores que se dan durante la práctica.

CONCLUSIONES

- Se diseñó y se construyó un extractor líquido – líquido del tipo Columna de SCHEIBEL para un sistema ternario.
- Se identificó las variables del proceso de extracción líquida – líquida para un sistema Acetona – agua – MIBC siendo estas el flujo de alimentación y el tipo de solvente.
- Se realizaron los cálculos de ingeniería diseñando el equipo de extracción Líquido – Líquido para un sistema ternario, con una capacidad de 6 L en su columna de extracción, dos tanques de almacenamiento para la mezcla a tratar y el solvente con una capacidad de 28 L cada tanque.
- Se validó el equipo de Extracción líquido – líquido con los estudiantes del noveno semestre de la carrera de Ingeniería Química, para esto se ocupó un sistema Acetona – Agua – MIBC, obteniendo así una eficiencia de extracción del 67,21% y un rendimiento del equipo del 84,62%.
- En el extracto se obtuvo una concentración de 22% de acetona y 78% de MIBC mientras en el refinado nos dio una concentración de 17% de acetona y del 83% de agua.

RECOMENDACIONES

- Verificar constantemente que los flujos de entrada se mantengan en la relación indicada de acuerdo a la técnica que estén utilizando.
- Observar que el equipo se encuentre limpio antes de iniciar la práctica, para evitar la formación de varias capas durante el proceso de extracción por las impurezas que pueden existir en el mismo.
- Revisar que no se vacíe el tanque de alimentación del líquido ligero para que la bomba no presente inconvenientes y evitar problemas en el funcionamiento.
- Verificar que los compuestos a utilizarse cumpla con las características de miscibilidad para que se pueda dar la extracción

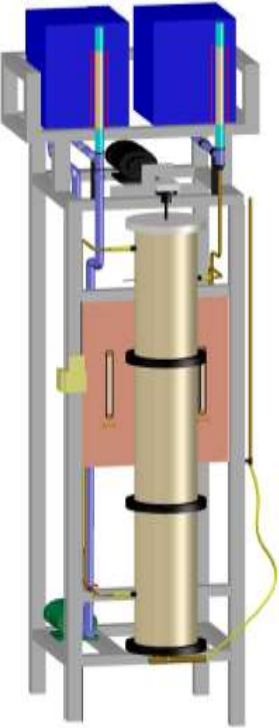
BIBLIOGRAFÍA

- **COULSON Y RICHARSON.** *Ingeniería Química. Operaciones Básicas.* TOMO II. 3a. ed. Sevilla, España. Editorial Reverte S.A. 2003. Pp. 795-800.
- **Columna de extracción líquido-líquido.** [En línea]. [Consulta: 20 de Mayo del 2015]. Disponible en: <http://dspace.universia.net/bitstream/2024/893/1/PROYECTO+PARTE+1.pdf>.
- **Extracción líquido-líquido. Fundamentos.** [En línea]. [Consulta: 20 de Mayo del 2015]. Disponible en: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jesuf/OP3-001ExtraccionFundamentos.pdf>
- **Equipo para operaciones de extracción líquido-líquido.** [En línea]. [Consulta: 21 de Mayo del 2015]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/marconuneze/equipo-para-extraccin-lquido-lquido>
- **Extracción líquido-líquido.** [En línea]. [Consulta: 21 de Mayo del 2015]. Disponible en: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/yoanacastillo/materias/oqe_3/extraccionliq.pdf
- **Equipos de extracción líquida-líquida.** [En línea]. [Consulta: 23 de Mayo del 2015]. Disponible en: <https://procesosdeseparacion.files.wordpress.com/2014/01/equiposextliq.pdf>
- **Extracción líquido-líquido.** [En línea]. [Consulta: 27 de Mayo del 2015]. Disponible en: http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio_tip.html
- **Extracción líquido-líquido.** [En línea]. [Consulta: 09 de Junio del 2015]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/adriandsierraf/extraccin-lquido-lquido-complemento-tema-6>
- **Extractor líquido-líquido.** [En línea]. [Consulta: 09 de Junio del 2015]. Disponible en: <http://galeon.com/jackzavaleta/balw8.pdf>
- **MARCILLA, A.** *Introducción a las operaciones de separación contacto continuo.* [En línea] (Pregrado) Ingeniería. de la Universidad de Alicante, España. Publicaciones Alicante. 1999. [Consulta: 19 de Mayo del 2015]. <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4330/1/Marcilla_Gomis_Contacto_continuo.pdf>

- ***Operaciones liquido-liquido.*** [En línea]. [Consulta: 09 de Junio del 2015]. Disponible en:
<http://es.slideshare.net/JuanLarreal/guia-2-extraccion-liquido-liquido>
- **OCON, J. y TOJO, G.** *Problemas de Ingeniería Química.* 1a. ed. Madrid, España. Gráficas Halar. 1980. Pp. 111-197.
- **TREYBAL, ROBERT.** *Operaciones de transferencia de masa.* 2a. ed. México D.F., México, Programas Educativos, S.A. 1993. Pp. 527-615.
- **WELTY, J. y otros.** *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa.* 4a. reimpresión. México D.F., México, Editorial LIMUSA. 1991. Pp. 739-746.

ANEXOS

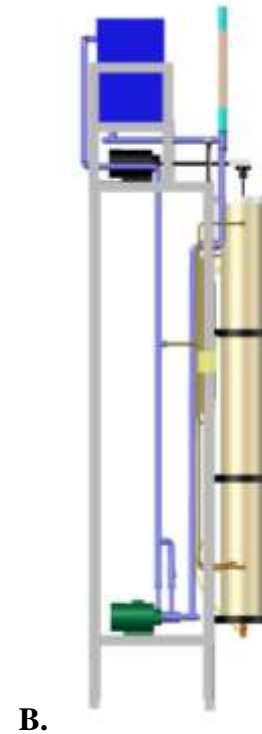
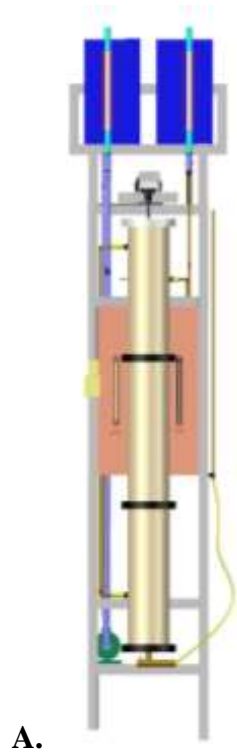
ANEXOS A: DESHIDRATADOR



A.

NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	ESPOCH		EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO		
A. PLANO DEL EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO			Elaborado por: Jimmy Molina Fredy Pacheco		ESCALA	FECHA	LÁMINA
					A4	02-08-2015	I

ANEXOS B: VISTAS DEL EXTRACTOR



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH Elaborado por: Jimmy Molina Fredy Pacheco	EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO		
A. Vista frontal B. Vista lateral			ESCALA	FECHA	LÁMINA
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar		A4	02-08-2015	II

ANEXOS C: VALIDACIÓN



A.



B.

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO		
<p>A. Obtención de Refinado y extracto</p> <p>B. Equipo de extracción en funcionamiento</p>	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	<p>Elaborado por: Jimmy Molina Fredy Pacheco</p>	ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	02-08-2015	III

ANEXOS D: COEFICIENTES DE REPARTO

Solute	Feed solvent	Extraction solvent	Temp. (°C)	K (wt % basis)
Acetone	Water	1-Pentanol	30	1.14
Acetone	Water	2-Octanol	30	0.66
Acetone	Water	Chloroform	25	1.83
Acetone	Water	Chloroform	25	1.72
Acetone	Water	Dibutyl ether	25	1.94
Acetone	Water	Diethyl ether	30	1.00
Acetone	Water	Ethyl acetate	30	1.50
Acetone	Water	Ethyl butyrate	30	1.28
Acetone	Water	Methyl acetate	30	1.15
Acetone	Water	Methylisobutyl ketone	25	1.91
Acetone	Water	Hexane	25	0.34
Acetone	Water	Toluene	25	0.84
Acrylic acid	Water	89.6 wt % Kerosene/10.4 wt % trialkylphosphine oxide (C7–C9)	25	6.50
Aniline	Water	Methylcyclohexane	25	2.05
Aniline	Water	Methylcyclohexane	50	3.41
Aniline	Water	Heptane	25	1.43
Aniline	Water	Heptane	50	2.20
Aniline	Water	Toluene	25	12.9
Benzoic acid	Water	87.4 wt % Kerosene/12.6 wt % tributylphosphate	25	36.0
Benzoic acid	Water	89.6 wt % Kerosene/10.4 wt % trialkylphosphine oxide (C7–C9)	25	1.30
Butyric acid	Water	20 vol % Trioctylamine + 20 vol % 1-decanol + 60 vol % dodecane	20	6.16
Butyric acid	Water	70 vol % Tributylphosphate + 30 vol % dodecane	20	2.51
Butyric acid	Water	Methyl butyrate	30	6.75
Citric acid	Water	25 wt % Tri-isooctylamine + 75 wt % Chloroform	25	14.1
Citric acid	Water	26 wt % Tri-isooctylamine + 75 wt % 1-Octanol	25	41.5
A. Epichlorohydrin	Water	2,3-Dichloropropene	20	11.4

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	EXTRACTOR LÍQUIDO-LÍQUIDO		
A. Coeficiente de distribución k de sistemas de tres componentes, a distintas condiciones.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Por verificar	Elaborado por: Jimmy Molina Fredy Pacheco			
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
			A4	02-08-2015	IV